



UNIVERSIDAD DE LEÓN.

Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias.

Evaluación de técnicas de cultivo y variedades, mediante parámetros agronómicos y edáficos, para la optimización de una rotación en secano semiárido en régimen ecológico, basada en cereales y leguminosas grano.

Tesis presentada por
Jesús Mariano de Torres Villagrà
para optar al grado de Doctor

Resumen

La Agricultura Ecológica (AE) se ha convertido en los últimos años en una alternativa solvente a las prácticas convencionales. En los secanos cerealistas de Castilla y León es aún una posibilidad escasamente utilizada. En los secanos semiáridos en general, la limitación climática de las producciones junto con la necesaria reducción de costes y razones de tipo ambiental, son factores a favor de la AE.

Entre los años 2003 y 2008, con el fin de documentar tanto aspectos técnicos como ambientales de la AE, se llevó a cabo una investigación en la que se probaron distintas técnicas de siembra –alta densidad (AD), líneas pareadas (LP) y densidad normal (DN)- y distintas variedades de cuatro cultivos en rotación, dos cereales –cebada y avena- y dos leguminosas -veza y yeros- en régimen ecológico, sin aporte de fertilizantes orgánicos. Las variables dependientes analizadas fueron, por una parte, la incidencia de arvenses y su relación con el rendimiento de los cultivos. Por otra parte se estudió el efecto de las técnicas de siembra sobre los principales parámetros químicos del suelo, abarcando su evolución temporal en el régimen ecológico y los efectos diferenciales de cultivos y técnicas de siembra sobre dichos parámetros. En tercer lugar se estudiaron también tres indicadores de la actividad biológica del suelo - actividad ureasa, respiración edáfica y biomasa microbiana- y siete grupos fisiológicos de microorganismos implicados en los ciclos del carbono y del nitrógeno, celulolíticos, amilolíticos, proteolíticos, amonificantes, nitritantes, nitratantes, y aerobios totales viables.

Los resultados en su conjunto fortalecen la idea de la sostenibilidad de estos sistemas limitados por el clima en ausencia de fertilización mineral y orgánica. Los parámetros químicos muestran niveles fundamentalmente estables, especialmente en el contenido de nutrientes asimilables por las plantas. Los estudios microbiológicos indican que el ciclo del nitrógeno se interrumpe casi por completo en la fase de amonio, que hubo de ser, por tanto, la especie química de nitrógeno mayoritariamente absorbida por las plantas. Este hecho representa en suelos calizos de pH básico una ventaja a la hora de la asimilación de fosfatos, ya que la extrusión de protones al suelo por parte de la planta -para compensar la absorción de iones NH_4^+ -, acidifica la rizosfera, favoreciendo la movilización fósforo. La técnica de siembra en LP fue la menos productiva, y presentó una disminución de los indicadores de actividad biológica. Sin embargo, no se encontraron diferencias en la presencia de arvenses con las distintas técnicas de siembra. Entre las variedades sometidas a estudio, la avena Chapline

presentó los mayores rendimientos, Garbo fue la cebada más productiva a la vez que la que presentó menos arvenses, y Senda fue la variedad de veza con mayor rendimiento. En general el clima y las labores realizadas para el control de arvenses – falsa siembra – fueron los elementos determinantes de la abundancia de arvenses y de la composición de las poblaciones. Se observó una correlación muy escasa entre presencia de arvenses y rendimientos. En la avena, dicha correlación no fue significativa. En cebada, débilmente significativa y muy difusa. En veza la correlación fue débil y positiva entre arvenses y rendimiento pero negativa entre arvenses y producción de paja, reflejando la escasa correspondencia entre producción de paja y rendimiento observada en este cultivo. En yeros hubo correlación negativa entre arvenses y rendimiento, pero fue más significativa y estrecha entre arvenses y producción de paja.

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

1.1. Marco conceptual de la agricultura ecológica (AE) en el contexto agrario y ecológico	3
1.2. Estadísticas sobre la Agricultura Ecológica	4
1.3. Ámbito en el que se desarrolla la investigación	8
1.4. Elementos conceptuales sobre los que se apoya la investigación sobre AE realizada. <i>Techo ambiental.</i>	8
1.5. Investigación en AE	10
1.6. Química del suelo	11
1.6.1. Fósforo	12
1.6.2. Nitrógeno	18
1.7. Biología del Suelo	20
1.7.1. Determinación de la actividad del enzima ureasa	27
1.7.2. Estimación de la biomasa microbiana	29
1.7.3. Método de la absorción estática	30
1.8. Microbiología del suelo	32
1.8.1. Cantidad de microorganismos	33
1.8.2. Taxonomía	33
1.8.3. Distribución	34
1.8.4. Fisiología	34
1.8.5. Papel en las redes tróficas	35
1.8.6. Interacciones entre microorganismos	37
1.8.7. Interacciones con las plantas	39
1.8.8. Microorganismos y agentes contaminantes	40
1.8.9. Papel de los microorganismos en los ciclos de los elementos	40
1.9. Arvenses	44
1.9.1. Tolerancia	45
1.9.2. Métodos de control	46

Capítulo 2. Objetivos

Capítulo 3. Materiales y métodos

3.1. Localización del ensayo. Suelo y clima	57
3.2. Material vegetal	57
3.2.1. Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	57
3.2.2. Veza (<i>Vicia sativa</i> L.)	59
3.2.3. Avena (<i>Avena sativa</i> L.)	60
3.2.4. Yeros (<i>Vicia ervilia</i> L. Willd)	61
3.3. Diseño experimental	62
3.3.1. Diseño estadístico de la parcela	62
3.3.2. Técnicas de siembra ensayadas	64
3.3.3. Descripción de cada uno de los ensayos y sus correspondientes estudios estadísticos	64
3.3.3.1. Estudio químico del suelo.	64
3.3.3.2. Estudio de la actividad biológica del suelo.	65
3.3.3.3. Estudio de la microbiología del suelo	66
3.3.3.4. Estudio de arvenses	66
3.3.3.5. Estudio de los rendimientos	67
3.4. Cronograma de la agronomía de los cultivos.	67
3.5. Metodología de los análisis químicos del suelo.	68
3.6. Metodología del análisis de la actividad biológica y microbiología del suelo	69
3.6.1. Método de fumigación-incubación para la estimación de la biomasa microbiana	69
3.6.2. Método de la absorción estática	72
3.6.3. Método para la determinación de la actividad del enzima ureasa	73
3.6.4. Metodologías para la determinación cuantitativa de grupos fisiológicos de microorganismos del suelo	75
3.6.4.1. Material y reactivos.	76
3.6.4.2. Preparación de extracto de tierra.	76
3.6.4.3. Preparación de las diluciones para inocular.	76
3.6.4.4. Inoculación de las diluciones.	77
3.6.4.5. Descripción de los métodos de análisis	77
3.7. Metodología del análisis de arvenses	80
3.8. Metodología de determinación del rendimiento del cultivo y de sus componentes.	81

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1. Condiciones meteorológicas durante el desarrollo de los ensayos.	85
4.2. Evolución de componentes químicos de la fertilidad del suelo en 5 años de	87

agricultura ecológica.	
4.2.1. pH	88
4.2.2. Conductividad eléctrica (CE)	89
4.2.3. Materia orgánica (M.O.)	93
4.2.4. Nitrógeno	94
4.2.5. C/N	96
4.2.6. Carbonatos totales	97
4.2.7. Fósforo	97
4.2.8. Potasio	99
4.2.9. Magnesio	99
4.2.10. Calcio	99
4.2.11. Resumen de los resultados del estudio químico del suelo	100
4.3. Evolución de la actividad biológica y la microbiología del suelo	102
4.3.1. Actividad biológica	102
4.3.1.1. Actividad ureasa	102
4.3.1.2. Biomasa microbiana	103
4.3.1.3. Respiración del suelo	103
4.3.1.4. Discusión conjunta de los resultados de la actividad biológica del suelo	105
4.3.2. Grupos metabólicos de microorganismos y actividad biológica. Comparación estacional en la campaña 2007-2008	109
4.3.2.1. Microorganismos del ciclo del carbono	111
4.3.2.2. Microorganismos del ciclo del nitrógeno	113
4.4. Evolución de las arvenses	115
4.4.1. Estructura de las poblaciones arvenses	116
4.4.1.1. Análisis según técnicas de siembra	116
4.4.1.2. Análisis según variedades	125
4.4.1.3. Resumen del análisis cualitativo de arvenses	130
4.4.2. Análisis cuantitativo de arvenses	133
4.4.2.1. Avena	137
4.4.2.2. Cebada	138
4.4.2.3. Veza	140
4.4.2.4. Yeros	141
4.5. Rendimiento de los cultivos durante las campañas 2006-07 y 2007-08.	146
4.5.1. Avena	146
4.5.2. Cebada	153
4.5.3. Veza	159
4.5.4. Yeros	167
4.6. Interacciones entre el desarrollo de arvenses y el rendimiento de los cultivos.	171
4.6.5. Discusión general sobre los resultados de arvenses y rendimientos	174

Capítulo 5. Conclusiones

181

Capítulo 6. Bibliografía

187

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

Tabla 1.1. Superficie agrícola en AE por cultivos y comunidades en 2009.	7
Tabla 1.2. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de la respiración del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García <i>et al.</i> , (2003)	25
Tabla 1.3. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de la biomasa del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García <i>et al.</i> , (2003)	26
Tabla 1.4. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de actividades enzimáticas del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García <i>et al.</i> , (2003)	27
Tabla 1.5. Número de plantas que suponen el umbral de daños en cereales (Stigliani y Resina 1993 en Zaragoza 2004)	45

Capítulo 3. Materiales y métodos

Tabla 3.3.1. Rotaciones en las cuatro subparcelas del estudio	52
Tabla 3.3.2. Densidades de siembra en peso por superficie, semillas por superficie semillas por línea para las tres técnicas de siembra en cada uno de los cuatro cultivos	54

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.2.1. Análisis de la varianza de las principales variables químicas del suelo.	90
Tabla 4.2.2. Valores medios de los parámetros químicos del suelo en las parcelas sembradas con distinta técnica en las sucesivas campañas.	91-92
Tabla 4.2.3. Valores medios de los parámetros químicos del suelo obtenidos en los análisis de suelos teniendo en cuenta el cultivo previo	93
Tabla 4.3.1. Resultados del análisis de la varianza de los tres parámetros seleccionados para evaluar la actividad biológica del suelo en una variedad de cada cultivo durante las campañas 2005-06 y 2006-07.	103
Tabla 4.3.2. Valores medios de actividad biológica edáfica en dos campañas 2005-2007 para una variedad de cada uno de los cuatro cultivos	104
Tabla 4.3.3. Resultados del análisis de la varianza de los parámetros seleccionados para evaluar la actividad biológica para tres campañas (2005-2008) en yeros	105
Tabla 4.3.4. Valores medios de actividad biológica edáfica en tre campañas (2005-2008) en yeros.	105
Tabla 4.3.5. Resultados del análisis de la varianza de los grupos metabólicos de microorganismos y la actividad biológica del suelo obtenidos en las parcelas sembradas con una variedad de yeros con diferentes técnicas de siembra en cuatro muestreos estacionales en la campaña 2007-08	109
Tabla 4.3.6. Valores medios estacionales de unidades formadoras de colonias (UFCs) de distintos grupos metabólicos de microorganismos y de tres parámetros de actividad biológica del suelo en una variedad de yeros con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008.	110
Tabla 4.4.1. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 1 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Cebada)	117
Tabla 4.4.2. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 1 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Veza).	118
Tabla 4.4.3. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 2 según	119

las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Yeros)	
Tabla 4.4.4. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 2 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Cebada).	120
Tabla 4.4.5. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 3 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007(Veza).	121
Tabla 4.4.6. Valores de Importancia Relativa de las arvenses presentes en las parcelas del bloque 3 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Avena).	122
Tabla 4.4.7. Valores de Importancia Relativa de las arvenses presentes en las parcelas del bloque 4 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Avena).	123
Tabla 4.4.8. Valores de Importancia Relativa de las arvenses presentes en las parcelas del bloque 4 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Avena).	124
Tabla 4.4.9. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 1 según las variedades en la campaña 2006-2007	126
Tabla 4.4.10. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 1 según las variedades en la campaña 2007-2008	126
Tabla 4.4.11. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 2 según las variedades en la campaña 2006-2007.	127
Tabla 4.4.12. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 2 según las variedades en la campaña 2007-2008	127
Tabla 4.4.13. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 3 según las variedades en la campaña 2006-2007.	128
Tabla 4.4.14. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela las parcelas del bloque 3 según las variedades en la campaña 2007-2008.	128
Tabla 4.4.15. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela 4 según las variedades en la campaña 2006-2007.	129
Tabla 4.4.16. Importancia Relativa de las arvenses presentes en la subparcela las parcelas del bloque 4 según las variedades en la campaña 2007-2008	129
Tabla 4.4.17. Resumen del nº de especies y dominancias obtenidas en el análisis cualitativo de arvenses.	130
Tabla 4.4.18. ANOVA para la densidad y biomasa de arvenses en febrero en cuatro cultivos y dos años del ensayo.	133
Tabla 4.4.19. ANOVA para la densidad y biomasa de arvenses en junio en cuatro cultivos y dos años del ensayo.	133
Tabla 4.4.20. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses por cultivos.	136
Tabla 4.4.21. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de avena.	137
Tabla 4.4.22. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de cebada	139
Tabla 4.4.23. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de vezas .	140
Tabla 4.4.24. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de yeros	141
Tabla 4.4.25. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de avena.	142
Tabla 4.4.26. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de cebada.	143
Tabla 4.4.27. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de veza	144
Tabla 4.4.28. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de yeros	145
Tabla 4.5.1. Análisis de la Varianza interanual para los componentes del rendimiento en avena	151

Tabla 4.5.2. Comparación de los valores medios del rendimiento de avena y sus componentes en las campañas 2006-2008	152
Tabla 4.5.3. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en cebada.	157
Tabla 4.5.4. Comparación de los valores medios del rendimiento de cebada y sus componentes en las campañas 2006-2008	158
Tabla 4.5.5. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en veza.	165
Tabla 4.5.6. Comparación de los valores medios del rendimiento de veza y sus componentes en las campañas 2006-2008.	166
Tabla 4.5.7. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en yeros	169
Tabla 4.5.8. Comparación de los valores medios del rendimiento de yeros y sus componentes en las campañas 2006-2008.	170
Tabla 4.6.1. Resultados del análisis de regresión lineal simple para los rendimientos y la densidad y biomasa de arvenses para cada cultivo. En veza y yeros se presentan también regresiones en las que la variable dependiente no es el rendimiento sino la paja.	171
Tabla 4.6.2. Resumen de diferencias encontradas en la densidad y biomasa de arvenses para los diferentes tratamientos y los distintos cultivos.	173
Tabla 4.6.3. Resumen de diferencias encontradas en los rendimientos para los diferentes tratamientos y los distintos cultivos.	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

Figura 1.1. Superficie agrícola y operadores de AE en España	5
Figura 1.2. Superficie agrícola de AE por comunidades autónomas.	5
Figura 1.3. Superficie de AE en España por cultivos.	6
Figura 1.4. Esquema genérico de la red trófica edáfica (Ruiter <i>et al.</i> , 1994 en Bloem <i>et al.</i> , 1997)	36
Figura 1.5. Diagrama causa-efecto para la mineralización de la materia orgánica en base a la proporción de nitrógeno y fósforo y a la acción consumidora de la cadena trófica sobre bacterias y hongos. Elaborado a partir de datos de Moore <i>et al.</i> , (2007), Bloem <i>et al.</i> (1997) y Atlas y Bartha (2002)	37
Figura 1.5. Principales procesos del ciclo del carbono en el suelo destacándose los grupos de microorganismos implicados en los procesos edáficos. Elaborado a partir de varias fuentes.	42
Figura 1.6. Principales procesos y depósitos del ciclo del nitrógeno. Elaborado a partir de varias fuentes.	44

Capítulo 3. Materiales y métodos

Figura 3.1.1. Corte estratigráfico del suelo de la finca hasta dos metros de profundidad.	57
Figura 3.2.1. Parcela elemental con cebada de la variedad <i>volley</i> . Junio 2008	58
Figura 3.2.2. Parcela elemental con cebada de la variedad <i>hispanic</i> . Junio 2008	58
Figura 3.2.3. Parcela elemental con cebada de la variedad <i>garbo</i> . Junio 2008	59
Figura 3.2.4. Parcela elemental con veza de la variedad <i>senda</i> . Junio 2008	60
Figura 3.2.5. Parcela elemental con avena de la variedad <i>clapline</i> . Junio 2008	61
Figura 3.2.6. Parcela elemental con yeros de la variedad <i>campuzano</i> . Mayo 2007	61
Figura 3.3.1. Esquema del campo de ensayos	63
Figura 3.6.1. Desecador de vacío con las muestras de suelo en proceso de fumigación con cloroformo.	70
Figura 4.6.2. Suelos fumigados y reinoculados, introducidos en frascos herméticos junto con la solución de sosa que captará el CO ₂ desprendido.	71
Figura 4.6.3. Muestras de suelo con solución tampón y urea (izda.) y en proceso de incubación en agitación.	74
Figura 3.6.4. Conjunto de gradillas correspondientes a las 6 pruebas de una réplica, listas para incubar.	75
Figura 4.6.5. Placa de la dilución 10 ⁻⁵ mostrando las colonias de aerobios.	77

Capítulo 4. Resultados y discusión

Figura 4.1.1. Pluviometría mensual durante el ensayo y valores medios de 20 años	85
Figura 4.1.2. Temperaturas medias mensuales durante los años del ensayo y valores medios de 20 años	86
Figura 4.1.3. Precipitación (rosa) y evapotranspiración (azul) en la campaña 2005-	86

2006. Observese el periodo seco y de fuerte evapotranspiración en mayo-junio.	
Figura 4.2.1 . Valores medios de materia orgánica edáfica de las parcelas sembradas con distintas técnicas. Cada punto es el valor medio de 36 análisis. * : diferencias significativas entre técnicas de cultivo en cada campaña.	94
Figura 4.2.2. Valores medios de fósforo edáfico a lo largo de las cinco campañas en parcelas sembradas con distintas técnicas	98
Figura 4.2.3. Valores medios de Ca a lo largo de las cinco campañas en las microparcelas sembradas con distintas técnicas	100
Figura 4.3.1. Valores medios de biomasa microbiana (Fumigación-incubación) de las campañas 2005-06 y 2006-07 en las parcelas sembradas con distintas técnicas	107
Figura 4.3.2. Parcela de cebada sembrada en líneas pareadas en la campaña 2005-06	108
Figura 4.3.3. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de aerobios según distintas fechas y técnicas de siembra en 9 parcelas de yeros cultivadas con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008.	111
Figura 4.3.4. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos amilolíticos según distintas fechas de muestreo y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.	112
Figura 4.3.5. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos proteolíticos según distintas fechas de muestreo y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.	112
Figura 4.3.6. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos amonificantes según distintas fechas y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.	114
Figura 4.3.7. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos nitrificantes según distintas fechas y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.	115
Figura 4.3.8. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos nitrificantes según distintas fechas y técnicas de siembra en 9 parcelas de yeros cultivadas con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008.	115
Figura 4.4.1. Valores del Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 1 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.	118
Figura 4.4.2. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 1 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.	118
Figura 4.4.3. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 2 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero	120
Figura 4.4.4. Valores del Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 2 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio	121
Figura 4.4.5. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 3 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.	112
Figura 4.4.6. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 3 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.	123
Figura 4.4.7. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 4 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.	124
Figura 4.4.8. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 4 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.	125
Figura 4.4.9 . Valores medios de densidad de arvenses en los muestreos de febrero.	136
Figura 4.4.10 . Valores medios de densidad de arvenses en los muestreos de junio.	136
Figura 4.4.11. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres variedades de avena en los muestreos de febrero (arriba) y junio (abajo), en el que solo se presenta la densidad.	138
Figura 4.4.12. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres variedades de cebada en los muestreos de febrero (izquierda) y junio (derecha).	140
Figura 4.4.13. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres	141

variedades de veza en los muestreos de febrero.

Figura 4.5.1. Número de panículas por metro cuadrado y visualización de la interacción año-variedad en avena	147
Figura 4.5.2. Peso de mil granos y visualización de la interacción año-variedad en avena.	147
Figura 4.5.3. Granos por panícula y visualización de la interacción año-variedad en avena	148
Figura 4.5.4. Densidad de panículas y visualización de la interacción año-técnica en avena.	149
Figura 4.5.5. Granos por panícula y visualización de la interacción variedad-técnica en avena.	149
Figura 4.5.6. Rendimiento y visualización de la interacción año-variedad en cebada	154
Figura 4.5.7. Espigas m ² y visualización de la interacción año-variedad en cebada.	154
Figura 4.5.8. Granos por espiga y visualización de la interacción año-variedad en cebada	155
Figura 4.5.10. Peso de mil granos y visualización de la interacción año-técnica en cebada	156
Figura 4.5.11. Granos por espiga y visualización de la interacción año-técnica en cebada.	156
Figura 4.5.12. Rendimiento y visualización de la interacción año-variedad en veza.	160
Figura 4.5.13. Número de vainas por planta y visualización de la interacción año-variedad en veza.	160
Figura 4.5.14. Rendimiento y visualización de la interacción año-técnica en veza.	161
Figura 4.5.15. Número de vainas por planta y visualización de la interacción año-técnica en veza.	162
Figura 4.5.16. Número de vainas por planta y visualización de la interacción variedad-técnica en veza.	162
Figura 4.5.12. Peso de paja y visualización de la interacción año-técnica en yeros.	168
Figura 4.6.1. Resumen de interacciones entre algunos factores que determinan la presencia de arvenses y su reflejo en el rendimiento del cultivo.	179

Capítulo 1. Introducción y antecedentes.

1.1. Marco conceptual de la agricultura ecológica (AE) en el contexto agrario y ecológico.

Las grandes incertidumbres del panorama mundial en este principio de milenio afectan de lleno a la agricultura. Factores incisivos y a menudo de sentidos opuestos someten a tensión todos los elementos que conforman esta faceta primordial de la actividad humana poniendo en jaque su presente y su futuro de forma continuada en casi cualquier parte del mundo. La globalización del comercio frente a las políticas de protección; las mejoras tecnológicas frente a la sensibilidad ambiental: cambio climático, deforestación, erosión; la extensión del regadío frente a la escasez y mayor demanda de agua en todos los sectores; la exigencia de productos “perfectos” frente a la demanda de productos naturales; la demanda de cantidad de los países pobres frente a la demanda de calidad de los ricos, o la presión de la industria de insumos agrícolas frente al ancestral deseo de independencia del agricultor.

Este marco de crisis permanente es idóneo para los grandes cambios de paradigma, las grandes alternativas, y permite la coexistencia simultánea de formas muy distintas de enfocar la agronomía. Todos buscan ser la solución. En unos casos se da más importancia al mercado, en otras a los principios y valores. Los unos buscan sobrevivir a corto y medio plazo, otros echan la vista más allá y buscan soluciones duraderas. Por un lado se lleva la tecnificación al extremo, se rompe con la naturalidad de los cultivos, se los aísla del medio y se pretende controlar todas las variables, por otro se trata de reintegrar la agricultura en el medio natural y el medio natural en la agricultura. Finalmente la sociedad decidirá, tanto de forma consciente como mediante la mecánica del mercado, cual o cuales van a ser los sistemas de producción del futuro y con qué matizaciones.

La Agricultura Ecológica (AE), Orgánica¹ o Biológica² representa una más de la ya amplia batería de alternativas activas a día de hoy. Aunque desde el punto de vista del consumidor la AE es simplemente aquella forma de agricultura que produce alimentos sin residuos químicos de síntesis, desde la perspectiva del productor la propuesta conceptual consiste fundamentalmente en no hacer agricultura sobre el lugar donde antes se encontraba un ecosistema, sino hacer agricultura *en el ecosistema*, que pasa a ser un agroecosistema (Altieri, 1995). Mason define, la Agricultura Orgánica como *un*

¹ Países de ámbito sajón

² Italia y Portugal

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

sistema holístico de producción que usa estrategias naturales a largo plazo para la constitución del suelo y el manejo de las plagas (Mason et al., 2007a).

La toma de conciencia de esta perspectiva conlleva de forma inmediata una ampliación del horizonte de intereses del agricultor más allá del propio cultivo, una necesidad de entender con creciente profundidad cuáles son las líneas de fuerza que unen el cultivo al todo más amplio que lo sostiene y del que forma parte, dando como resultado el desarrollo de todo un conjunto de técnicas basadas en dicho conocimiento, y que en muchos casos basan su efectividad en el aprovechamiento inteligente de las sinergias del agrosistema.

Algunas de esas técnicas nacen como respuesta a aspectos genéricos y son por tanto exportables, pero otras muchas responden a aspectos específicos de cada agrosistema o situación concreta, y por lo tanto tienen que ser implementadas o al menos matizadas por el propio agricultor, máximo conocedor de las características de su finca. Esto confiere un mayor protagonismo al agricultor en comparación con otras visiones más sujetas a recetas. En todo caso son técnicas, algunas de ellas de base empírica pero otras muchas con una sustancial base teórica, lejos de la imagen distorsionada de la AE como vuelta atrás, como un abandono de la línea de progreso en un retorno de corte romántico a lo que “hicieron nuestros ancestros”. Si la AE adopta técnicas usadas antaño, es desde una perspectiva crítica, en una nueva vuelta de espira que lejos de suponer un retroceso la sitúa en la punta de lanza del progreso humano en el sentido más amplio del término, ya que se hace cargo de lo complejo de la realidad frente a la tendencia simplificadora de otros modos de hacer agricultura.

1.2. Estadísticas sobre la Agricultura Ecológica.

Aunque aún en cifras relativamente bajas, la AE está dejando de ser un exotismo. En 2008 la superficie certificada en el mundo fue de 32,2 millones de hectáreas, 1,5 millones más que el año anterior. Los países con más superficie fueron Australia (12 millones de ha) y Argentina (2,8 mll.ha), y en términos relativos respecto de su Superficie Agraria Util (SAU), Austria (13,4%) y Suiza (11%). Alemania pretende que en 2020 un 20% de su superficie agrícola sea ecológica. El comercio global de productos ecológicos ascendió a 46.000 millones de dólares (IFOAM, 2009). No es extraño que las multinacionales agropecuarias estén pasando desde la ignorancia o la franca oposición a tomar posiciones en un mercado en clara expansión.

En España el crecimiento fue exponencial en los años 90 y tras un periodo de estancamiento ha vuelto a repuntar con fuerza hasta alcanzar 1,3 millones de hectáreas en 2008, un 30% más que el año anterior, que supone un 5,1% sobre la SAU. En Europa se sitúa en segundo lugar en superficie absoluta, tras Italia. En cuanto al número de operadores (productores y elaboradores), supera los 23.000, cifra que multiplica por 20 la que había en 1995. (Figura 1.1).

En Castilla y León la superficie dedicada a AE en 2008 fue de casi 19.000ha, que en términos relativos la sitúa en posiciones de cola respecto a otras comunidades autónomas. Andalucía, con una superficie agrícola total similar, dedicó más de 780.000 ha a AE (Figura 1.2), a nivel de organigrama administrativo e inversión pública está muy por delante del resto de comunidades.

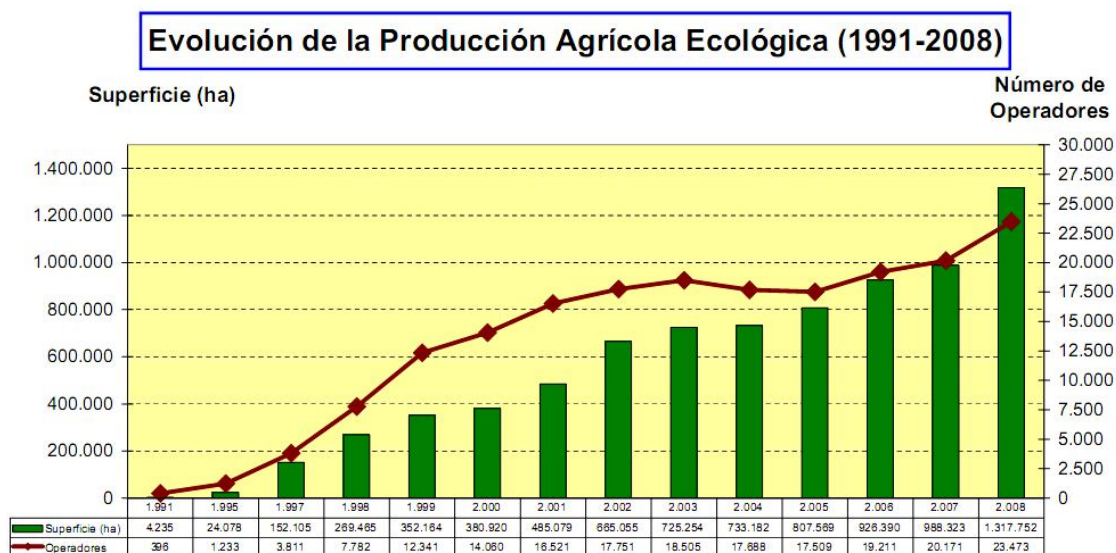


Figura 1.1. Superficie agrícola y operadores de AE en España. (Estadísticas del MARM 2009)

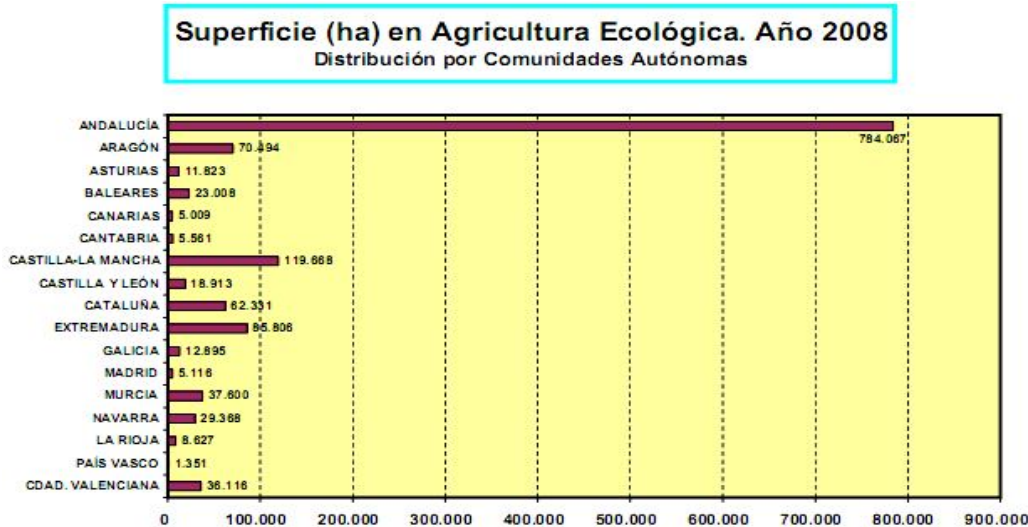


Figura 1.2. Superficie agrícola de AE por comunidades autónomas. (Estadísticas del MARM 2009)

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

Aunque se suele asociar la idea de AE a los productos hortícolas, lo cierto es que en términos relativos no suponen más que el 1,6% de la superficie total empleada. Los cereales, como no podía ser de otra manera son los cultivos mayoritarios (27,2%) seguidos del olivo (21,8%). El barbecho, como elemento importante de las rotaciones ecológicas, sigue a continuación en porcentaje de superficie ocupada (21,3%) (Figura 1.3)

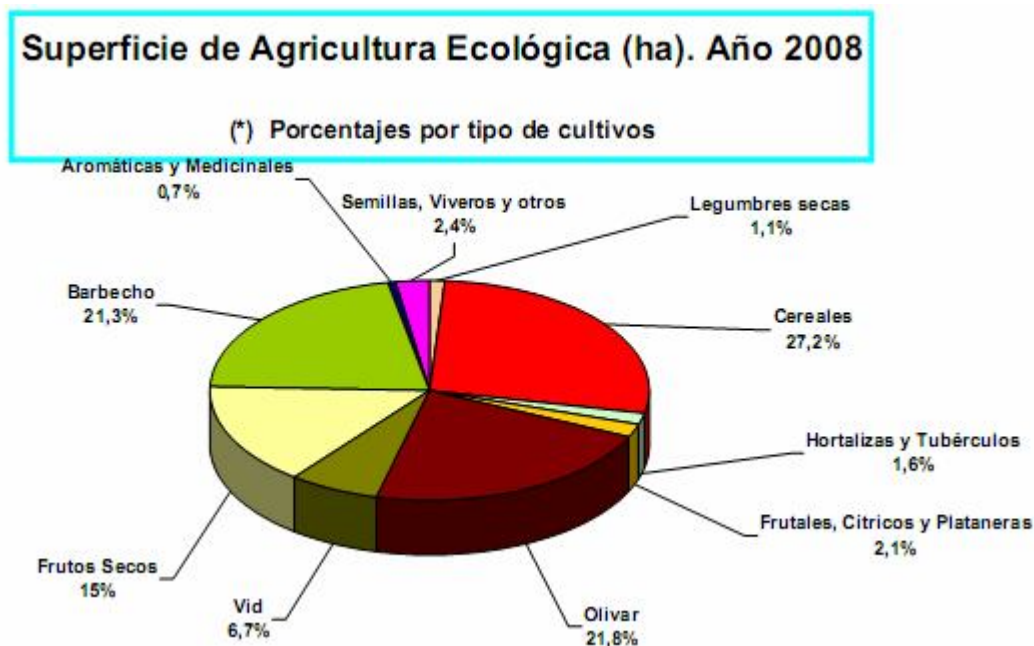


Figura 1.3. Superficie de AE en España por cultivos. (Estadísticas del MARM 2009)

La AE en Castilla y León está lejos de ser una apuesta estratégica. Con algo más de 200 operadores en 2008, debe la mayor parte de las 19.000 ha cultivadas a la notable extensión de las fincas de secano y pastos, y ocupa uno de los últimos puestos en tanto por ciento sobre la S.A.U (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Superficie agrícola en AE por cultivos y comunidades en 2009. (Estadísticas MAPA 2009)

SUPERFICIE DE AGRICULTURA ECOLÓGICA (ha) POR TIPO DE CULTIVO. AÑO 2008

Comunidad Autónoma	Cereales ino arroz	Legumbres secas	Hortalizas y tubérculos	Cítricos	Frutales	Olivar	Vid	Frutos Secos	Plataneras y Subtropicales	Aromáticas y Medicinales	Bosque y Recolección Silvestre	Pastos, Praderas y Forrajes	Barbecho y Abono Verde	Semillas y Viveros	Otros	TOTAL
ANDALUCÍA	41.909,68	386,89	4.003,25	2.805,23	1.031,62	41.556,94	556,92	30.710,62	448,91	1.922,52	146.458,38	475.140,08	34.977,77	22,35	2.336,19	784.067,35
ARAGÓN	22.095,49	253,02	110,93		350,41	2.055,97	824,21	1.569,21		62,20	462,39	13.838,41	23.893,22	4.864,00	114,42	70.493,88
ASTURIAS	38,74		19,67		119,13			6,89		0,01	77,55	11.560,73				11.822,72
BALEARES	3.822,38		100,41	73,98	123,62	398,56	200,43	2.621,00		4,62	6.316,32	8.872,81	361,55		112,06	23.007,74
CANARIAS	35,32		132,59	26,41	96,23	11,68	293,65	47,29	122,93	84,33	0,19	4.139,78	9,42	0,10	9,48	5.009,40
CANTABRIA			7,30		21,80							5.530,60		1,79		5.561,49
CASTILLA-LA MANCHA	26.062,05	2.807,23	520,85		164,13	12.835,74	14.206,17	9.355,36		112,76	7.493,19	24.998,65	19.443,20	3,20	1.665,60	119.668,13
CASTILLA Y LEÓN	6.899,66	1.210,34	106,13		24,19	88,75	908,76	11,81		32,28	390,82	8.011,08	1.180,24		48,59	18.912,65
CATALUÑA	2.757,00	54,00	249,00	144,00	265,00	2.705,00	2.241,00	925,00		26,00	13.038,00	37.260,00	2.572,00	5,00	90,00	62.331,00
EXTREMADURA	7.303,31	4,96	209,17		1.252,72	35.294,31	928,53	1.492,70	0,37	0,91	652,81	34.783,68	3.864,51	6,69	10,90	85.805,57
GALICIA	82,04		80,04		280,18	29,92	43,96			11,04	1.146,12	11.184,14	19,13	0,75	17,78	12.895,10
MADRID	328,13	130,79	27,37		8,34	1.265,29	259,74	13,73				1.680,83	611,81	0,02	790,00	5.116,05
MURCIA	4.220,42	155,02	1.366,62	457,63	487,23	1.918,18	5.400,15	17.750,45		582,22	810,47	240,53	4.198,05	12,72		37.599,69
NAVARRA	7.557,54		95,50		59,86	279,65	939,72	241,63		96,20	0,10	11.846,76	7.309,68	941,16		29.367,80
LA RIOJA	196,41	5,88	54,00		84,14	565,56	317,47	691,39			437,68	6.225,58	27,53		21,08	8.626,72
PAÍS VASCO	181,98	3,40	81,60		102,02	1,47	102,75			0,62	52,36	802,45	1,80	0,79	19,26	1.350,51
CDAD. VALENCIANA	2.678,46		371,43	862,75	598,35	2.261,00	3.632,39	4.603,61		512,67	10.571,88	9.916,01	107,06		0,48	36.116,09
TOTAL NACIONAL	126.168,61	5.011,53	7.535,86	4.170,00	5.068,97	101.268,02	30.855,85	70.040,69	572,21	3.448,38	187.908,26	666.032,12	98.576,97	5.858,57	5.235,84	1.317.751,88

1.3. Ámbito en el que se desarrolla la investigación.

Aunque no faltan agricultores que se sienten tentados por la idea de transformar sus fincas a AE, hay, entre otros, dos elementos fuertemente disuasorios (Mielgo *et al.*, 1996 en Guzmán y Mielgo 2004). Uno es la incertidumbre de la comercialización. Este mismo sentimiento frena a algunos ganaderos dispuestos al cambio, pero en este caso la incertidumbre es sobre la adquisición de piensos ecológicos en un radio geográfico aceptable, de forma que existe una sinergia negativa que de momento está retardando el despegue del sector. Otro elemento disuasorio es la falta de conocimientos. Tras décadas de trabajar bajo prescripción aplicando tácticas homogeneizadas, muchos agricultores sienten un cierto temor a responsabilizarse al cien por cien del manejo de sus tierras, pues esto requiere una cercanía y un contacto, una sabiduría campesina que a veces se ha perdido en mayor o menor grado. La necesidad de desarrollar un bagaje técnico que aúne un conocimiento profundo del agrosistema y sus mecanismos y una capacidad para dar respuestas específicas a situaciones concretas es lo que ha movido a la realización de la presente investigación en el marco de un convenio más amplio entre la Diputación de Valladolid y la EUITA INEA, adscrita a la Universidad de Valladolid. La finca en la que se desarrollan los ensayos, cuyas características edafoclimáticas se describirán más adelante, tiene 340 ha de las que 232 están reforestadas y 108 se dedican a la agricultura de secano. La finca comenzó su transformación a ecológica en 2003, y tiene número de operador del CAECyL desde 2005.

1.4. Elementos conceptuales sobre los que se apoya la investigación sobre AE realizada. *Techo ambiental.*

Como ya se ha indicado antes, el resultado final de la AE es la producción de alimentos sanos, sin residuos tóxicos, además de “respetar el medio ambiente”, pero el fundamento de su práctica es más profundo, pues pone de manifiesto dos formas alternativas de comprender la realidad agrícola, y aún la realidad en su conjunto.

Quizás la antinomia que mejor expresa esa alternativa es **simplificación vs. complejidad**

Simplificación. Con la atención centrada en la planta y en cómo hacer para que consiga los nutrientes que le permitan dar los mayores rendimientos, el resto de circunstancias se convierten en molestos efectos colaterales que, o bien hay que “vencer”, o que eliminar. Las técnicas desarrolladas bajo este paradigma no pueden tener otro resultado final que un sustrato inerte, un ecosistema muerto sostenido en este estado en medio de un planeta vivo mediante la imprescindible inyección de grandes cantidades de insumos energéticos. Al ignorar y/o tratar de eliminar la mayor parte de los componentes del agrosistema se da la espalda por principio a una visión complejiva de las situaciones, y se buscan continuamente soluciones puntuales a problemas puntuales, soluciones que en tantos casos serán origen de otros tantos problemas en aspectos que han quedado fuera del campo de observación. Al final se tiene toda una batería de productos y medidas “contra”, y una inevitable sensación de cansancio provocada por la percepción de que es necesario sostener de forma continuada todo el sistema “en el aire”, con el gasto que ello supone.

Complejidad. Admitir la complejidad supone aceptar la abrumadora presencia de miles de elementos vivos y no vivos que no solo condicionan sino que en realidad sustentan la marcha del cultivo y que están intrincadamente interrelacionados por millones de años de coadaptación, dando como resultado una red de interacciones que por el momento solo podemos vislumbrar y que nos sorprende cada año con nuevos hallazgos a menudo insospechados. Adivinar la existencia de esa red supone aceptar que se ignora mucho más de lo que se conoce, y por tanto desistir de la pretensión de control absoluto sobre el agrosistema, o al menos de cierto tipo de control lineal e impuesto desde fuera.

La AE, que no lo que podría ser simplemente una agricultura libre de residuos, tiene su fundamento en este tipo de contacto conceptual *holístico* con el agrosistema (Labrador y Porcuna, 2004). Trata de integrar y comprender el mayor número de procesos para ejercer acciones coadyuvantes, sinérgicas, y evitar en lo posible las acciones lineales con sus inevitables efectos colaterales.

Este doble móvil, aportar información para la práctica de la AE de secano en la meseta castellano-leonesa, y generar conocimiento complejo, holístico, es lo que ha impulsado el curso de la investigación que se presenta en esta Tesis hacia una amplitud progresiva, y por eso abarcan aspectos tan diversos como variedades, técnicas de siembra, arvenses, química, biología y microbiología del suelo, buscando,

no la profundización de frontera en el estudio de cada aspecto, sino el hallazgo o la confirmación de esas interacciones entre los diferentes aspectos.

Techo ambiental. Existe otro elemento orientador de los ensayos que aquí se presentan. Es el llamado *techo ambiental* (Lacasta *et al.*, 2006b. Brown 1997; Lacasta y Bello 1989). Existen zonas cuya climatología constituye el verdadero factor limitante de los rendimientos de los cultivos. Las mesetas centrales de la Península Ibérica y otras zonas catalogables de semiáridas en el planeta, como es el caso de buena parte de las llanuras cerealistas de Norteamérica o el extremo oeste de Australia, tienen en la escasa pluviometría y su irregular comportamiento tanto interanual como estacional, un impedimento estructural para la expresión del potencial genético de los cultivos. El resultado es que las producciones medias no superan una barrera bastante modesta a pesar de los esfuerzos tecnológicos y energéticos que se vienen realizando desde hace décadas. En los escasos años de climatología óptima las producciones se disparan y actúan de señuelo para seguir aportando los insumos que en la mayor parte de las campañas no solo aumentan en vano los gastos, sino que se convierten en una fuente de contaminación de los acuíferos.

Ensayos llevados a cabo en la submeseta sur ibérica, algunos de ellos de largo plazo, vienen a demostrar que las extracciones de los cultivos en esas condiciones edafoclimáticas pueden ser repuestas con los restos de cosecha, las rotaciones con leguminosas, el barbecho y el aporte ocasional de abono orgánico en cantidades moderadas. Como las producciones son equiparables con los del manejo convencional, el fuerte ahorro que supone la no aplicación de abonos determina un mayor rendimiento económico, y aún más si se considera la venta de los productos a precio de producto ecológico certificado (Lacasta y Meco, 2000).

1.5. Investigación en AE.

Aunque lejos de ser un foco de atención prioritario del mundo científico, la AE está presente en la investigación. En una búsqueda bibliográfica pueden encontrarse gran número trabajos firmados en los últimos años que tienen como objeto toda una batería de aspectos desde los más amplios a los más concretos, que pueden agruparse del siguiente modo acompañados de algunas referencias recientes

- AE y sostenibilidad. (Ondine *et al.*, 2009; Guzman y Alonso, 2008; Sumner, J. 2008)
- Análisis sociológicos. Proceso de conversión, mercados, tendencias sociales (Lamine y Bellon, 2009; Serra *et al.*, 2008)
- Comercialización de productos de la AE (Alkon, 2008)
- AE y gestión del territorio y paisaje (Norton *et al.*, 2009)
- AE, contaminación y cambio climático (Korsaeth 2008; Meisterling *et al.*, 2009)
- Técnicas de fertilización (Zhang *et al.*, 2009)
- Control de arvenses (Mason *et al.*, 2007; Hoad *et al.*, 2008)
- Control de plagas y enfermedades (Hafez, 2008; Nicholls *et al.*, 2008; Zhong, 2008; Martin-Closas *et al.*, 2008)
- Rotaciones y policultivos (Lauk y Lauk 2008; Schärer, 2008)
- Variedades (Rasmussen *et al.*, 2004; Weibel *et al.*, 2008)
- Biología y química del suelo (Piotrowsky y Rillig, 2008; Cai Lili *et al.*, 2008)
- Microbiología del suelo (Birkhofer *et al.*, 2008)
- Influencia de la AE en la biodiversidad y viceversa (Boutin *et al.*, 2008)

Todos ellos se pueden reagrupar en tres tipos

1. Estudios socioeconómicos
2. Optimización de técnicas de manejo
3. Análisis de la evolución de algún aspecto del agrosistema

A continuación se realiza una revisión sobre los diferentes aspectos que se abordan en la investigación.

1.6. Química del suelo.

La agricultura moderna ha sido desarrollada principalmente bajo la premisa de aportes de nutrientes en cantidades suficientes, si no excesivas, en forma de fertilizantes sintéticos. Esto ha tenido como consecuencia la creación de variedades que responden muy bien a los abonos pero que a la vez dependen mucho de ellos, ya que a menudo carecen de capacidad para crecer en condiciones limitantes de nutrientes o en general en condiciones edáficas adversas (Rengel y Marschner, 2005). Esta quimiodependencia es comprensible, aunque en todo caso discutible, en ambientes agrícolas en los que los factores limitantes son precisamente los

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

nutrientes, pero es difícilmente justificable en ambientes cuyo factor limitante es el clima y que solo en ocasiones permite la expresión del potencial genético de estos cultivos (Brown, 1997; Lacasta y Meco, 2000). Es por ello que en este trabajo se analiza la evolución en el tiempo de los principales nutrientes tratando de evidenciar si en condiciones de secano semiárido se produce un hipotético vaciamiento de nutrientes o por el contrario se producen signos de sostenibilidad, intentando justificar los resultados a la luz de los conocimientos actuales, que en conjunto parecen otorgar a la planta un papel mucho más activo que el de mero usuario de los nutrientes disponibles.

Los estudios de la química del suelo en condiciones de cultivo ecológico encontradas en la bibliografía se limitan en todos los casos a cuantificar y comparar con condiciones de agricultura convencional. Ha sido necesario ampliar el campo de búsqueda hacia la investigación edáfica en general para obtener información más específica que abra posibilidades de interpretación de los resultados obtenidos.

Se centra la atención en los elementos que generalmente actúan como limitantes, especialmente en nuestro caso el fósforo y el nitrógeno, ya que el potasio abunda en el suelo de los ensayos.

1.6.1. Fósforo.

El fósforo es un elemento que las plantas requieren en cantidades relativamente elevadas. La biomasa vegetal posee en promedio un 0,2% de fósforo sobre el total de materia seca, un 4% sobre las sales. Por otro lado, una serie de circunstancias hacen de este nutriente el factor limitante en muchos ambientes edáficos. En un estudio de la FAO, Batjes calcula que 570 millones de hectáreas presentan algún tipo de deficiencia de fósforo para los cultivos (Batjes, 1997). Entre las zonas señaladas como más carentes se encuentran la Amazonia y la cuenca del Congo, conocidas por su exuberante vegetación de selva virgen. Esta coincidencia viene a señalar que el mundo vegetal ha desarrollado estrategias para solventar este problema, y que conviene profundizar en ellas para hallar los recursos técnicos adecuados sin recurrir a la fertilización a no ser verdaderamente necesaria. Existen suelos pobres en fósforo de forma absoluta. Se trata en su mayoría de suelos ácidos y muy lavados en los que la lixiviación continuada de la fracción soluble ha terminado finalmente vaciando el depósito de fósforo en cualquiera de sus formas. Sin embargo en la mayoría de suelos el fósforo se encuentra en concentraciones suficientes o abundantes pero en

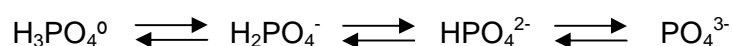
su mayor parte (>80%) en formas no directamente absorbibles por las plantas (Rengel y Marschner, 2005)

Son varias las causas que hacen del fósforo un elemento de química compleja y que justifican que a pesar de los importantes esfuerzos investigadores realizados durante más de un siglo, la capacidad predictiva de su comportamiento en los diversos suelos sea aún hoy escasa (Hinsinger, 2001). Esas causas pueden ser agrupadas como sigue:

- Las variadas cualidades del fósforo en sus formas químicas naturales en los variados ambientes edáficos. Esta variabilidad se basa en los siguientes procesos:
 - Especiación
 - Disolución-precipitación
 - Absorción-desorción
- Estrategias de las plantas destinadas a modificar el ambiente rizosférico para lograr cubrir sus necesidades de fósforo, así como otras relacionadas con la obtención de otros nutrientes o con otras actividades
 - Vaciamiento-acumulación de fósforo inducido por la planta en la rizosfera.
 - Acidificación-alkalinización de la rizosfera
 - Exudación de ácidos y aniones orgánicos
 - Alteración de la geometría o la arquitectura del sistema radical
 - Asociación con microorganismos

A continuación se describen brevemente los procesos que sufren las formas químicas del fósforo.

Especiación. El ácido fosfórico se disocia en varias especies de ortofosfato en función del pH ambiental desde su forma totalmente protonada a pH muy ácido hasta la forma totalmente desprotonada a pH muy básico



En los suelos las formas dominantes son H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} cuyo pK es 7,2.

Disolución-precipitación. En suelos ácidos la forma dominante es el dihidrógeno fosfato que reacciona con Fe^{3+} y Al^{3+} , abundantes a estos pHs, dando lugar a estrengita y variscita respectivamente. A pHs neutros y alcalinos, hierro y aluminio oxidados escasean, pero abundan otros metales como Ca^{2+} y Mg^{2+} . A estos pHs la

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

especie dominante es el monohidrógeno fosfato, que reacciona con el magnesio y sobre todo con el calcio formando varios tipos de sales: Fosfato dicálcico, fosfato octocálcico e hidroxiapatita. Todas estas sales tienen en común su baja solubilidad por lo que forman en su mayor parte precipitados. La disociabilidad de estas sales varía de unas a otras y con el pH, pero se puede afirmar que solo una parte marginal del fósforo está disuelto (Hinsinger, 2001). A pH 8 la fracción disuelta de fosfato respecto del total es la mínima, variando desde 10^{-4} del fosfato dicálcico a 10^{-8} si se trata de hidroxiapatita. A pH 5 la fracción disuelta de los fosfatos de Ca es de 10^{-2} , y al poco usual pH edáfico de 4, de 10^{-1} , pero a estos pHs ya se ha comentado que el fosfato reacciona con hierro y aluminio con similares consecuencias: a pH 5 la fracción disuelta de variscita y strengita vuelve a ser de 10^{-4} y 10^{-5} por lo que solo en un microambiente en el que escasee el aluminio y el hierro se esperará una relativa abundancia de iones fosfato móviles. A pH 9 la fracción disuelta de fosfato dicálcico vuelve a crecer hasta 10^{-2} . Se puede afirmar que tanto subiendo como bajando el pH a partir de 8 se va a notar un aumento del fosfato disuelto, aunque siempre en valores bajos (Hinsinger 2001).

Absorción-desorción. La principal forma de control de la fracción soluble de fosfato en el suelo es su adsorción y desorción a diversos elementos sólidos constitutivos del mismo, a saber: óxidos, minerales de arcilla, carbonatos y materia orgánica. A pHs bajos los óxidos metálicos tienden a protonarse parcialmente, adquiriendo carga positiva y haciendo por tanto posible la adsorción de los ortofosfatos en la superficie de los cristales, que por ello pierden su movilidad (Strauss *et al.*, 1997).

Como en toda reacción se puede desplazar el equilibrio hacia la desorción si se disminuye la concentración del fosfato libre presente o sustituyéndolo por otro anión. A pesar que el ortofosfato es más afín a las superficies de adsorción que los aniones candidatos a sustituirle como el bicarbonato y el citrato, se ha comprobado que en concentraciones relativamente altas (entre 1 y 10 mM) pueden desplazar al fosfato. El bicarbonato de suelos calizos, potenciado por el CO_2 producto de la respiración de las raíces y los microorganismos rizosféricos, puede llegar a concentraciones de orden milimolar y desplazar de forma significativa al fosfato adsorbido (Gollany *et al.*, 1993). Concentraciones similares de citrato exudado por la raíz tienen efectos similares (Kirk 1999).

A continuación se describen los mecanismos vegetales para el control de la nutrición fosfórica.

Vaciamiento – acumulación. Los dos elementos básicos para explicar el movimiento del fósforo hacia la superficie de absorción de la raíz son el flujo de masas creado por la corriente transpiratoria y la difusión. El primer efecto los autores están de acuerdo en que aporta una parte poco significativa de fósforo a la planta, menos del 5% (Hinsinger 2005). En cuanto a la difusión, para muchos es el elemento clave y prescinden de otras explicaciones que complican el panorama. La difusión aumenta con el gradiente de concentración, y este a su vez con el vaciamiento, de fosfato en este caso, que la planta crea en el entorno rizosférico. Ese vaciamiento provoca en último término un reemplazo del fosfato disuelto a partir de la fase precipitada o adsorbida del suelo. Lógicamente resultan favorecidas las plantas con transportadores de fosfato con alta afinidad, (baja K_m , constante de afinidad enzima-sustrato definida por Michaelis-Menten) ya que producen vaciamiento más completo, y por tanto un gradiente más pronunciado. En este sentido, las plantas en general y los cultivos en particular presentan fuertes diferencias. Mientras que los cereales gramíneas en general presentan K_m entre 1 y 5 μM ,⁽³⁾ las de tomate patata y algodón pueden oscilar entre 5 y 60 μM . Un caso extremo es el raigrás italiano, con una K_m de 0,1 μM . El vaciamiento de P en el entorno radicular ha sido confirmado por numerosos autores (Jungk 1997; Hinsinger 1998).

En algunos casos se han detectado acumulaciones de fosfato soluble a 2-3 mm de la superficie de la raíz unido a un leve vaciamiento a 0,5mm (Kirk 1999). Esto se interpreta como que se moviliza más fósforo en la rizosfera del que la planta tiene tiempo de absorber.

Acidificación-alcalinización de la rizosfera. Las plantas compensan el desajuste de carga creado por la absorción de cationes y aniones extruyendo H^+ y $\text{OH}^-/\text{HCO}_3^-$ respectivamente (Smyley 1974; Jaillard *et al.*, 2001; Hinsinger *et al.*, 2005).

El papel del nitrógeno es crucial en este proceso por dos razones: Es el nutriente que se absorbe en mayor cantidad, y se absorbe como anión (NO_3^-) y como catión (NH_4^+). Según esto, es de esperar que las raíces acidifiquen el entorno rizosférico cuando se nutren de amonio y lo basifiquen cuando absorben nitrato, y así ha sido comprobado (Gahoonia *et al.*, 1992; Tang *et al.*, 1997). La extrusión de ácidos orgánicos (citrato, oxalato, malato principalmente) también acidifica el suelo aunque sean extruidos

³ Es decir, que a estas bajas concentraciones pueden captar y absorber fosfato a 1/2 de la velocidad máxima del transportador.

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

como aniones, ya que se compensa la carga positiva relativa interior creada extruyendo protones. Otra forma de acidificación del suelo por la planta es la expulsión del CO₂ respiratorio que en buena parte se expulsa como bicarbonato.

Numerosos estudios desde los pioneros de Riley y Barber en 1971 demostraron que la acidificación del suelo creada por la compensación de cargas por la absorción de NH₄⁺ facilita la movilización y absorción de fósforo por la planta.

Algunos estudios han mostrado que cultivos como el trigo, la colza y leguminosas, que son especialmente eficientes en el aprovechamiento del P a partir de las rocas fosfatadas tienen también una especial habilidad para extruir protones.

En suelos muy ácidos, la extrusión de hidroxilos y bicarbonato por las raíces se ha demostrado eficiente para la desorción de fosfato a partir de óxidos metálicos. Por otro lado, a pHs bajos (4,5-5,5) se puede solubilizar sulfato a partir de sus correspondientes sales. Este sulfato compite con el fosfato en la adsorción sobre hidróxidos de hierro, dando como resultado que se libere gran cantidad de fosfato soluble en contra de lo esperado. Este es solo otro más de los numerosos factores ambientales edáficos que hacen muy difícil la predicción del comportamiento del fósforo.

Exudación de ácidos y aniones orgánicos. La exudación de grandes cantidades de compuestos orgánicos es uno de los hechos descritos desde el primer momento en que se definió el “efecto rizosfera” por Hiltner en 1904, y es de capital importancia en la ecología del suelo porque constituye el principal elemento nutritivo de los microorganismos asociados estrechamente a las raíces. Estos exudados deben tener una importancia no desdeñable para las plantas, pues pueden invertir en ellos hasta el 30% de su producción fotosintética. El principal componente son glúcidos, especialmente polisacáridos mucilaginosos. Los ácidos orgánicos se exudan en cantidades similares o algo menores que los glúcidos. La mayor parte de los ácidos orgánicos exudados son componentes del ciclo de Krebs, pero hay otros, como el fórmico, el láctico, shikímico, etc (Brassington 1998; Dakora y Philips 2000). La mayor parte de estos ácidos están disociados en el citoplasma por lo que se expulsarán sobre todo como aniones. En algunos cultivos como el altramuz o la alfalfa el ácido mayoritariamente exudado es el cítrico, en otros como el trigo, la colza o el tomate, el málico, y en la remolacha el oxálico.

Se han podido observar cambios en el patrón de exudado de ácidos o aniones orgánicos en plantas sometidas a diversos tipos de estrés, especialmente a carencias de fósforo, hierro y a toxicidad por aluminio (Ohwaki y Sugawara 1997). El hambre de fósforo provoca sobre todo la exudación de ácido cítrico y málico.

Especial atención ha merecido el caso de las raíces proteoides (unas raíces especialmente densas) del altramuz, que sometido a carencia de fósforo llega a exudar el 23% de su producción fotosintética en forma de citrato, identificándose más tarde cristales de citrato cálcico y un aumento del flujo de fosfato hacia la planta, por lo que presumiblemente han liberado fosfato soluble a partir de sales insolubles de Ca presentes (Jhonson *et al.*, 1996; Neumann y Römheld 1999 en Hinsinger 2001). Se ha hallado unas claras correlaciones inversas entre la concentración de fosfato disuelto inicialmente en el suelo con el porcentaje de las raíces que se vuelven proteoides y el flujo de ácido cítrico exudado. También se han hallado muy buenas correlaciones entre la cantidad de citrato adsorbida en el suelo y la concentración de fosfato disuelto disponible, que puede multiplicarse por 50, según el tipo de suelo, pero al parecer el efecto empieza a notarse con altas concentraciones de citrato (a partir de 10 μ M). Como se ha comentado, el citrato puede también formar complejos con el aluminio de sales fosfóricas liberando fosfato soluble.

Por último, los fitosideróforos, que son exudados bacterianos tricarboxílicos con una gran habilidad para quelar Fe que puede ser adquirido de sales fosfóricas (estregita) liberando por tanto fosfato soluble. (Keerthinsinghe *et al.*, 1998 en Hinsinger 2001).

Modificación de la estructura radical. Las raíces de plantas crecidas en suelos con escasez de fósforo tienden a alargarse, así como sus pelos absorbentes. De esta forma incrementan la superficie de contacto y por tanto el volumen de suelo explorado. En todo caso, el volumen del suelo explorado, en lo que a P se refiere, oscila entre el 1 y el 2% (Rengel y Marschner 2005; Gahoonia *et al.*, 2001; Nigussie *et al.*, 2003)

Asociación con microorganismos. Se ha comprobado repetidamente en condiciones de laboratorio que un numeroso grupo de microorganismos puede facilitar la absorción de fósforo difícilmente movilizable por las plantas mediante solubilización (*Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*...) o mediante la liberación de fitasas (*Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Penicillium*...) (Kim *et al.*, 1997, Yadav y Tarafdar 2003 en Rengel y Marschner 2005; Hoberg *et al.*, 2005)

1.6.2. Nitrógeno.

El nitrógeno del suelo no presenta formas inorgánicas insolubles, pero si distintos tipos moleculares, desde formas orgánicas, principalmente urea, aminoácidos, purinas, pirimidinas y aminas, a inorgánicas, como nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno molecular. Mientras que las formas moleculares del fósforo tienen unos vínculos de transformación principalmente químicos, los vínculos entre las formas moleculares del nitrógeno son principalmente biológicos (ver apartado 1.8.9 de esta misma introducción).

En ensayos llevados a cabo se demuestra que al menos algunos cultivos presentan una mejor asimilación de N cuando su procedencia es orgánica que cuando es mineral, y sus autores lo atribuyen al aumento de la longitud de las raíces, al incremento del proceso de mineralización en la rizosfera, y a la absorción directa de moléculas orgánicas (Matsumoto *et al.*, 1999 en Koga *et al.*, 2001). Se ha comprobado, incluso, que se produce absorción directa de proteínas (Koga *et al.*, 2001).

El nitrato es soluble. Se adsorbe al complejo de cambio aniónico, pero éste es relativamente pequeño pues lo constituyen principalmente los bordes positivos de las láminas de arcilla, por lo que insumos abundantes sobresaturarán el complejo dejando el nitrato listo para ser lixiviado. Cuando las arcillas se saturan de agua cambian su configuración estratificada por otra “en castillo de naipes”, por la que los bordes positivos de las láminas se asocian electrostáticamente a las caras negativas de las superficies de las láminas de arcilla (Dominguez y Shifter 1992), lo cual afecta escasamente al complejo de cambio catiónico pero drásticamente al complejo aniónico, por lo que el nitrato es desplazado y pasa a la solución, que en esas circunstancias se mueve hacia el subsuelo provocando el lixiviado del nitrato y la contaminación del acuífero.

El ión amonio se adsorbe al complejo de cambio catiónico, cuya capacidad es mucho mayor y menos afectada por la presencia de agua, por lo que existe menos riesgo de lixiviado. Sin embargo la fase disuelta del amonio se encuentra en equilibrio con su forma gaseosa sin carga, el amoniaco, que es volátil y tiende a escapar a la atmósfera.

En suelos anegados, temporalmente anóxicos, el nitrato puede ser usado por *Pseudomonas* como aceptor final de electrones pasando a N₂ (respiración anaerobia), siendo este un tercer sumidero por el que el nitrógeno se pierde, en este caso también hacia la atmósfera.

La reposición de todas estas pérdidas no puede llevarse a cabo mediante el solo reciclado de los residuos orgánicos, sino que tiene que haber una entrada neta de nitrógeno igual que existe una salida neta del mismo. La vía natural de entrada de nitrógeno en el ecosistema general y el edafosistema en particular es la fijación de nitrógeno molecular atmosférico por parte de los nitro fijadores de vida libre y simbiótica. En los agrosistemas, el hecho de que los cultivos necesiten nitrógeno en cantidades significativas, aumenta la probabilidad de que se convierta en elemento limitante, mucho más si se trata de variedades con un gran potencial genético de crecimiento y si las condiciones ambientales son óptimas.

Las técnicas de agricultura química convencional, desarrolladas en esencia en Europa central, solucionaron el problema de las reposiciones añadiendo al suelo generosas cantidades de lo que parecía ser la forma más estable de nitrógeno, el nitrato. En España, en una situación de inferioridad tecnocientífica se adoptaron, seguramente de forma bastante acrítica, las técnicas del norte, con los gastos que ello conlleva pero sin que acompañasen resultados similares. Han transcurrido muchas décadas y aún cuesta aceptar que el elemento limitante en la mayor parte del territorio peninsular es el clima. Dadas las extracciones medias que suponen las cosechas que permite el clima de las mesetas ibéricas ¿cuáles serían las cantidades de aportes necesarios de nitrógeno? ¿puede ser suficiente con los restos de cosecha, las rotaciones con leguminosas y aportaciones ocasionales de compost? ¿en qué medida las vías de reposición natural (nitro fijación) pueden satisfacer las demandas culturales en estas condiciones de clima limitante? ¿que prácticas son las adecuadas para minimizar los insumos?. En suma, la investigación pretende dar respuesta a lo que se necesita saber y hacer para extraer del agrosistema en régimen ecológico unas producciones que cubran razonablemente su productividad potencial real (incluyendo los factores ambientales limitantes) a la vez que se reducen al mínimo los gastos y por tanto se optimiza la rentabilidad.

Las técnicas de siembra que se analizan (alta densidad de siembra, líneas pareadas y densidad normal) pueden condicionar la cantidad de biomasa producida y por tanto

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

retornada al suelo, así como la tasa de mineralización, dado que varían el tiempo de exposición del suelo a la intemperie y el número de pases de maquinaria, por lo que los nutrientes en general y el nitrógeno en particular quedan implicados.

Más interesante aún resulta saber cómo evolucionan en el tiempo los nutrientes en el suelo con las técnicas comunes usadas en los ensayos, como las rotaciones o los laboreos superficiales, y si las diferencias hipotéticas provocadas por las distintas técnicas de siembra son acumulativas.

Otro aspecto de interés es la correlación existente entre la absorción de nitrógeno y la disponibilidad de fósforo. Como ya se comentó en el apartado anterior, la absorción de nitrógeno en forma de nitrato o bien de amonio provoca la extrusión de hidroxilos o protones para compensar las cargas internas de las células de la raíz, lo que provoca alcalinización o acidificación del suelo y determina la movilización del fósforo a partir de las formas precipitadas o adsorbidas (Smyley 1974; Römheld 1986; Jaillard *et al.*, 2001; Hinsinger *et al.*, 2005). Se pueden buscar entre la batería de variables monitorizadas elementos indicadores de cómo los cultivos resuelven el caso en las condiciones edáficas concretas de los ensayos.

1.7. Biología del Suelo.

A estas alturas muy pocos autores, si alguno, dudan de que los elementos vivos del suelo, lejos de ser meros huéspedes fortuitos de un medio inerte, son en realidad cogeneradores del mismo, de ahí el creciente interés del estudio de la vida edáfica como una variable más, y no la menos importante, para comprender la historia evolutiva y las cualidades fisicoquímicas de los suelos.

Sin embargo La Biología del Suelo, como parte integrante de la Edafología es aún una ciencia joven, con escasos modelos de amplio alcance capaces de dar explicaciones satisfactorias a los abundantes datos empíricos y capacidad predictiva suficiente como para resolver problemas.

Esta inmadurez se acentúa si nos referimos a suelos agrícolas debido sobre todo a dos factores. Uno, que la agricultura por esencia altera el suelo, lo que supone una dificultad añadida. Otra, que, como ya se ha comentado, la tendencia mayoritaria de la agricultura del siglo XX ha sido ignorar la complejidad del agrosistema,

solucionando las adversidades tratando de eliminar al enemigo, es decir, simplificando. Este proceso llega a su máxima expresión cuando se pasa a considerar el suelo como un mero sustrato inerte. Como también es cierto que la falta de modelos edafo-biológicos contundentes no ayuda desde el punto de vista práctico a tomar en cuenta de forma seria el elemento vivo del suelo, se produce una retroalimentación negativa que pone a prueba la persistencia de los que se dedican a investigar este campo con la esperanza de aportar un conocimiento que facilite soluciones alternativas a viejos problemas como la aportación equilibrada de nutrientes, la salud radicular de los cultivos, o la sostenibilidad de la estructura del suelo agrícola.

La Biología del suelo se ha encontrado siempre con serios problemas metodológicos fundamentados en varios factores entre los que pueden destacarse:

- La gran variedad de suelos, que provoca que, en el hipotético caso de llegar a conocer bien un suelo, puede que lo hallado tenga escasa aplicación en otros muchos.
- La enorme complejidad de la organización fina del suelo, es decir, su tremenda anisotropía, de tal manera que en el curso de milímetros, o incluso de micras pueden darse microambientes tan distintos como que uno es oxidante y otro reductor (Stotzky 1997).
- La enorme cantidad de formas vivas distintas presentes, hasta el punto que aún no se ha conseguido siquiera un catálogo exhaustivo de todas las especies presentes en un tipo de suelo. En los últimos años, gracias a la introducción de técnicas genéticas están saliendo a la luz phyla completos que son nuevos para la ciencia, que siempre habían estado ahí, pero desapercibidos por su incapacidad de crecer en los medios nutritivos convencionales.
- La complicada accesibilidad de los componentes del suelo para su estudio, provocada por el carácter microscópico de muchos de sus componentes vivos e inertes y por la opacidad del medio.

El análisis biológico del suelo es muy complicado, ya que, como hemos visto más arriba, el mero hecho de identificar a los actores es una tarea ardua. Para poder estudiar la fisiología de una especie microbiana, tradicionalmente se aísla la cepa y se la somete a distintos medios y condiciones de cultivo. Pero desde hace mucho se sabe que hay una gran discrepancia entre el número de colonias bacterianas que se forman en los medios sólidos y el número real de bacterias presentes en el suelo, (Shayne *et al.*, 2003) debido a las exigencias nutricionales y ambientales de muchas

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

de ellas. Desde finales de la década de los ochenta la aplicación de técnicas de moleculares ha permitido el estudio de la diversidad microbiológica edáfica sin las restricciones mencionadas. El primer estudio amplio del microbiota edáfico fue publicado por Torsvik en 1990 y se realizó utilizando técnicas de renaturalización del ADN. Sus sorprendentes resultados mostraron 4000 genomas diferentes, multiplicando por doscientos los que se podían identificar por métodos clásicos. Posteriormente se han usado marcadores moleculares, como los ácidos grasos de los fosfolípidos (PLFA), o el ARN 16S, que unidos a potentes herramientas estadísticas de análisis en clusters, han supuesto un salto cualitativo en la capacidad de catalogación de especies (Marschner 2007). También se han usado los polimorfismos de los fragmentos de restricción (RFLPs) para la identificación de especies o grupos fisiológicos determinados, como por ejemplo, microorganismos nitrificadores detectados usando marcadores del gen de la nitrogenasa (Soares *et al.*, 2006), pero el mayor esfuerzo de las técnicas moleculares se ha centrado en los estudios taxonómicos, no en los fisiológicos.

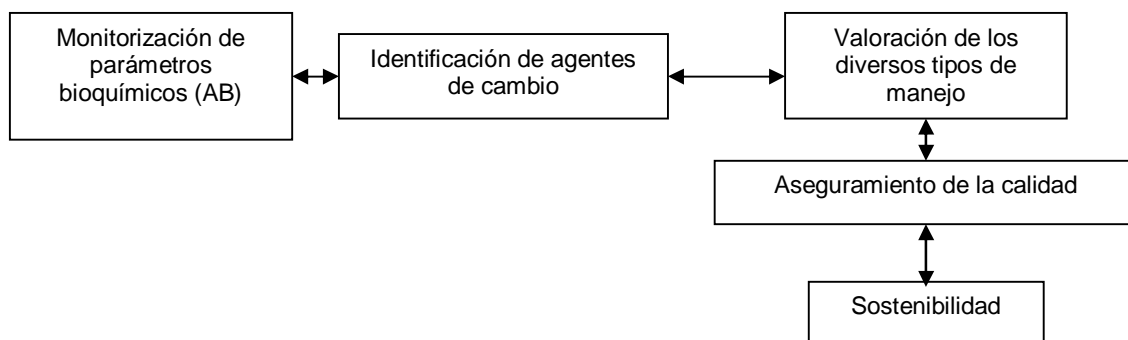
La idea del suelo como una “caja negra” (Insam, 2001) en la que se estudian los flujos de entrada y salida pero se evita penetrar en el conocimiento de las estructuras íntimas, ha sostenido durante décadas las clasificaciones de suelos basadas en su origen, como la de Hans Jenny (Jenny 1941 y 1994) y otras mucho más recientes basadas en la teoría de sistemas complejos. Esta idea ha sido también soporte de toda una rama de experimentación en suelos basada en hacer entrar en un suelo en régimen continuo una serie de moléculas y analizar las que aparecen en el efluente tratando de sacar conclusiones, evitando así la apabullante complejidad de la estructura fina de los suelos.

Los estudios de Actividad Biológica (AB) analizan determinadas funciones y parámetros bioquímicos sin preocuparse en principio del agente causante, y por tanto se adscriben al concepto de “caja negra”. Las técnicas de estudio de AB han sido desde los años 70 la punta de lanza de para la comprensión de la dinámica de los suelos (Bonmatí *et al.*, 2000), y lo son aun hoy a pesar de verse superadas por los estudios moleculares de taxonomía, pues aportan el aspecto fisiológico que estos últimos generalmente desatienden. Las técnicas de estudio de la AB son en general técnicas más ligeras que las taxonómicas y permiten su aplicación estudios comparados como el que nos ocupa.

Recientemente se están desarrollando técnicas que permiten correlacionar *in situ* (aunque en condiciones de laboratorio) la transformación de compuestos en el suelo con el conjunto de microorganismos responsables. Son técnicas que unen la tecnología del ARN y las pruebas con isótopos estables (ARN based SIP -Stable Isotope Prove-). Esta técnica asume que un determinado compuesto portador de ^{13}C puede ser asociado a la molécula de ARNr de la subunidad ligera de los ribosomas de los organismos que lo consumen (Whitley, A. *et al.*, 2006; Tiedje *et al.*, 1999), lo que supone en cierto modo abrir la “caja negra” en cuanto al ciclo del carbono se refiere. Solo muy recientemente empieza a haber trabajos en los que se asocia el estudio de la AB al de la taxonomía a través de RFLP, pero en este caso sin intentar encontrar correlaciones directas entre parámetros y organismos concretos. (Elfstrand *et al.*, 2006 y 2007; Giai *et al.*, 2007; Bing-Cheng Yuan *et al.*, 2007; Acosta *et al.*, 2007).

En lo que se refiere a suelos agrícolas, la AB del suelo es valorada de forma muy diferente desde los distintos enfoques agronómicos. Mientras que el enfoque convencional le da una importancia secundaria y pone el acento en la estructura fisicoquímica, el enfoque de la agricultura conservacionista, y más específicamente la AE lo considera como uno de los puntos clave para conseguir la estabilidad edáfica, que es uno de los fundamentos de la sostenibilidad del agrosistema.

La calidad de un suelo agrícola, y especialmente en Agricultura Ecológica puede referirse a su capacidad para sostener la productividad biológica y la promoción de la salud vegetal y animal (Papendick y Parr 1992) por lo que se podrá conocer si un determinado manejo del suelo es efectivo en este sentido monitorizando su influencia sobre los parámetros bioquímicos del mismo (García, Gil *et al.*, 2003). Como, por otro lado, los parámetros de la actividad metabólica del suelo se muestran como los más sensibles a la degradación del suelo, pueden ser usados como indicadores de “alerta temprana” ante cambios que de otro modo pueden pasar desapercibidos (Nannipieri 1994; García y Hernández 1997). Por último, hay que decir que se han encontrado muy buenas correlaciones entre la actividad microbiana del suelo y los niveles de actividades enzimáticas (Salam *et al.*, 1999, Kandeler *et al.*, 1999; Alvear *et al.*, 2005). Por todo ello se puede establecer la siguiente correlación (a partir de Trasar-Cepeda *et al.*, 1998).



En consecuencia, se recomienda evaluar la AB para estimar la calidad de un suelo (Alvear *et al.*, 2005; Joergensen y Emmerling, 2006).

El presente trabajo se enmarca en esta línea. Los ensayos no tratan de demostrar la viabilidad técnica y económica de la Agricultura Ecológica en este ámbito edafoclimático, pues ya ha sido suficientemente avalada por numerosos trabajos que muestran cómo en las zonas semiáridas como la nuestra el verdadero factor limitante es el clima, que impide de forma severa la expresión del potencial productivo de las variedades cultivadas bajo técnicas basadas en fuertes "in puts" energéticos, por lo que la rentabilidad y viabilidad en la actual coyuntura económica se fundamenta en el ahorro de insumos (Zaragoza *et al.* 1998; De Alba *et al.* 2001; Pardo *et al.*, 2002).

Así pues, nuestro estudio pretende usar la actividad biológica del suelo como un indicador de la evolución de la calidad agronómica del mismo a partir del momento en que se abandonan las prácticas convencionales y se adoptan las de AE.

No se han encontrado antecedentes exactos de nuestro trabajo, pero sí de la aplicación de estudios de la AB como índices de calidad del suelo en numerosos supuestos, de los que son una muestra los siguientes:

- Estudios comparativos de calidad de suelos agrícolas sometidos a distintas técnicas de laboreo -normal, mínimo y siembra directa- (Deng *et al.*, 1996; Alvear *et al.*, 2005).
- Estudios comparativos de la AB de suelos agrícolas sometidos a distintos tratamientos con herbicidas (Alvear *et al.*, 2006).
- Estudios comparativos de la calidad de suelos agrícolas sometidos a distintas enmiendas orgánicas (Deng *et al.* 1996) e inorgánicas (Acosta-Martinez *et al.*, 2007), o comparando ambas con suelos no fertilizados (Lacasta *et al.*, 2006b).

- Estudios comparativos de la AB en suelos agrícolas con distintas texturas (Lacasta *et al.*, 2006a).
- Estudios comparativos de la calidad de suelos agrícolas sometidos a distintos tipos de manejo de residuos agrícolas a largo plazo (Stark *et al.*, 2007; Dick *et al.*, 1988).
- Estudios comparativos de la calidad de suelos agrícolas con distintos cultivos (García Alvarez *et al.*, 1994) y rotaciones (Lacasta *et al.*, 2006c).
- Efectos del monocultivo en la calidad del suelo (Gawronska *et al.*, 1992).

Otros estudios más generales han presentado los resultados de la monitorización a largo plazo de la AB en suelos agrícolas (Kanderer *et al.*, 1999), en suelos con distinto grado de encharcamiento (Groffmann *et al.*, 1996), la variación estacional de la AB en suelos cultivados (García-Alvarez 1994), el efecto de la reforestación (Giai *et al.*, 2007) o la comparación de suelos sometidos a distintos usos por el hombre (Joergensen *et al.*, 2006; Acosta-Martínez *et al.*, 2007).

En los trabajos mencionados se usa una batería más o menos amplia de indicadores de la actividad biológica, por lo que en primer lugar hubo que analizarlos y elegir los más convenientes. La revisión bibliográfica se realizó tomando como base la publicación de “Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos” ,García *et al.*, (2003) a partir de la cual se realizaron tres tablas resumen de los principales métodos con sus ventajas e inconvenientes. La primera (Tabla 2) referente a los métodos de medida de la respiración del suelo. La segunda referente a los métodos de medida de la biomasa microbiana (Tabla 2) y la tercera, referente a los métodos de medida de actividad de diversos enzimas (Tabla 3).

Los criterios para la selección de las metodologías fueron

- Adecuación a los objetivos de estudio. Tratando de abarcar con el menor número de métodos, el máximo campo de estudio, la máxima información.
- El máximo aval en cuanto a fiabilidad, repetibilidad y sencillez de ejecución.

Tabla 1.2. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de la respiración del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García *et al.*, (2003)

MÉTODO	AÑO	AUTORES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Estimación de la respiración en sistema cerrado de incubación	1976 1997	Jäggi Aoyama y Nagumo	<ul style="list-style-type: none"> • Se hace un estudio periódico de las cantidades de CO₂ desprendido • Se evitan los problemas de anaerobiosis 	<ul style="list-style-type: none"> • No se conoce la cantidad exacta de suelo.

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

MÉTODO	AÑO	AUTORES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Estimación de la respiración en sistema de incubación con arrastre de aire	1969	Parr y Simth	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede valorar grandes cantidades de CO₂ desprendido sin sobreestimarlas gracias al arrastre de aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Es difícil que la cantidad de CO₂ que ha recogido de los botes de NaOH 4M las pueda recoger un frasco de NaOH 0.5M • La rehumectación puede dar una alta actividad inicial
Estimación automática del CO ₂ desprendido. Aparato Wösthoff	1982 1995	Anderson Alef	<ul style="list-style-type: none"> • El aparato es capaz de medir 6 muestras a la vez • método fiable cuyo aparato es resistente y fácil 	<ul style="list-style-type: none"> • La célula de medida del aparato tiene que estar a una temperatura más o menos constante de 2°C • Caro, al necesitar el aparato
Estimación de la respiración por medida del O ₂ . Aparato Saprostat	1982 1995	Anderson Alef	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede medir hasta 12 muestras • Se evitan condiciones de anaerobiosis 	<ul style="list-style-type: none"> • Método caro de realizar • No tienen en cuenta los microorganismos anaerobios
Método de cámaras de respiración estática o cerradas	1986	Rolston	<ul style="list-style-type: none"> • El suelo no sufre alteraciones porque es in-situ 	<ul style="list-style-type: none"> • El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera del interior de la cámara puede alterar el gradiente de concentración en el perfil del suelo causando una disminución del flujo de CO₂ en el periodo de medida
Método de absorción estática	1982 1995	Anderson Alef	<ul style="list-style-type: none"> • Ha sido utilizado por muchos científicos • Método sencillo • Método versátil 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede producirse infraestimación de CO₂ cuando la actividad respiratoria es muy alta o muy baja, Pero esto se puede solventar modificando los tamaños relativos de la campana y el vial de sosa • Puede incluir la respiración de raíces no eliminadas
Método de absorción dinámica	1961	Witkamp y Van der Drift	<ul style="list-style-type: none"> • El suelo no es alterado • Este método mejora el contacto entre el CO₂ del aire de la cámara y la disolución alcali 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede haber diferencias de presión entre la cámara y la fase gaseosa del suelo.
Método de cámara de respiración con flujo de aire	1982 1993	Anderson Alef	<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del suelo es mínima • Se usan 4 colectores siendo la muestra del suelo más representativa • No se arrastra CO₂ de los poros del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que medir una muestra del aire ambiente en cada análisis de atmósfera del suelo

Tabla 1.3. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de la biomasa del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García *et al.*, (2003)

MÉTODO	AÑO	AUTOR	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Determinación del N y C de la biomasa microbiana por el método de fumigación-incubación	1976b	Jenkinson y Powlson	<ul style="list-style-type: none"> • La constante de proporcionalidad de la biomasa microbiana respirada (Kc) ha sido muy estudiada y esta muy estipulada • Incluye anaerobios • A partir de este método son muchas las formas de determinar el C y N 	<ul style="list-style-type: none"> • Suponemos que la fumigación afecta a la biomasa microbiana y no a la materia orgánica • Suponemos que el número de microorganismos muertos durante el proceso en el suelo no fumigado es inapreciable al comparar con lo fumigado • No sirve para suelos muy ácidos
Determinación del C y N de la biomasa microbiana por el método de fumigación - extracción	1987	Vance	<ul style="list-style-type: none"> • Este método proporciona buenos resultados para todo el rango de pH de los suelos • Muy usado 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidades elevadas de cloruro en el suelo interfieren en la determinación del C orgánico • No se tiene en cuenta la rizosfera, ya que las raíces son eliminadas. Esto en realidad ocurre en todos los demás métodos de laboratorio
Determinación del C de biomasa microbiana por el	1978	Anderson Domsh	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen en cuenta los microorganismos que están latentes en el suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que calcular con exactitud la cantidad de glucosa a utilizar • No hay unanimidad en el factor de

MÉTODO	AÑO	AUTOR	VENTAJAS	INCONVENIENTES
método de la respiración inducida por sustrato			<ul style="list-style-type: none"> Método que se ha modificado por diferentes científicos Tiene en cuenta las situaciones anaerobias Método rápido de realizar No se emplean reactivos tóxicos 	<ul style="list-style-type: none"> conversión de la respiración máxima inicial no resulta adecuado para pH > 6.5 Cuidado con suelos que han recibido algún sustrato ya que los microorganismos se encuentran en crecimiento exponencial

Tabla 1.4. Análisis comparativo de algunos de los métodos de estudio de actividades enzimáticas del suelo encontrados en la bibliografía. Elaboración propia a partir de García *et al.*, (2003)

MÉTODO	AÑO	AUTOR	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Determinación de la actividad arisulfatasa	1970	Tabatabai Bremner	<ul style="list-style-type: none"> La medida es sencilla y rápida La simplificación de Elsgaard nos da muchas más opciones a lo largo del procedimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad del espectrofotómetro U-UV
Determinación de la actividad arisulfatasa	1992	Wirth Wolf	<ul style="list-style-type: none"> Aporta información sobre el ciclo dl azufre 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de muchos aparatos lo cual generan un alto coste al método Método muy laborioso
Determinación de la actividad ureasa del suelo	1972 1978	Tabatabai y Bremner Nannipieri	<ul style="list-style-type: none"> Aporta información sobre el ciclo del nitrógeno No requiere aparatos especiales Está muy contrastado 	<ul style="list-style-type: none"> Puede no ser fiable en suelos donde existan aminas volátiles hidracina, iones capaces de formar complejos o altas concentraciones de proteínas y albúminas. (No es nuestro caso)
Determinación de la actividad ureasa del suelo	1988 1999	Kandeler y Gerber Kandeler	<ul style="list-style-type: none"> La determinación colorimétrica del amonio se caracteriza por alta sensibilidad y estabilidad de los complejos a medir 	<ul style="list-style-type: none"> Se requieren reactivos muy peculiares y relativamente costosos Los reactivos de los procesos intermedios son inestables y hay que prepararlos a diario
Determinación de la actividad ureasa por ensayos rápidos de microceldillas	2000	Sinsanbaugh	<ul style="list-style-type: none"> Es sensible, rápido y exacto Se puede analizar un número elevado de muestras 	<ul style="list-style-type: none"> No está suficientemente contrastado Requiere un espectrofotómetro apto para la lectura de placas
Determinación de la actividad deshidrogenasa	1982 1993	Trevors García	<ul style="list-style-type: none"> Aporta información sobre el ciclo del C 	<ul style="list-style-type: none"> Método complejo Reactivos peculiares y costosos No considera los anaerobios

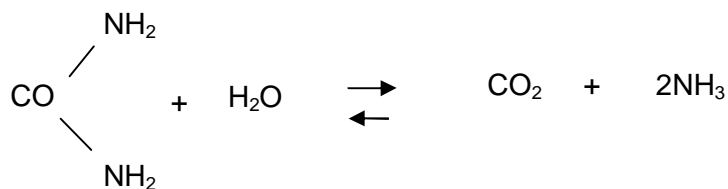
Los métodos seleccionados fueron los siguientes:

1.7.1. Determinación de la actividad del enzima ureasa en el suelo según Tabatabai y Brenmer 1972 modificado por Nannipieri *et al.*, 1978.

La ureasa es una de las enzimas más estudiadas, y pertenece al grupo de rutina en los estudios de calidad, fertilidad e impacto de los contaminantes en el suelo. Su interés agrícola se fundamentó en principio sobre todo en el uso de la urea como fertilizante (Sastre y Lobo 2003), ya que una alta concentración de ureasa puede tener como consecuencia la pérdida del nitrógeno aportado como urea en forma de amoniaco hacia la atmósfera. La ureasa es una proteína con 6 subunidades cada una

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

de las cuales es portadora de un par de iones Ni directamente implicados en el proceso de hidrólisis de la urea a amoníaco y anhídrido carbónico. La reacción catalizada se puede resumir como:



Lloyd y Sheaffe (1973) estimaron que en torno al 25% de las bacterias del suelo tienen capacidad para sintetizar ureasa, y esto incluye aerobios, anaerobios estrictos y microaerobios. Ya sea por extrusión o por lisis de la bacteria, el enzima pasa al suelo donde se asocia a arcillas o a ácidos húmicos y permanece estable y activa durante un tiempo variable, de ahí que se hayan encontrado bajas correlaciones con la biomasa microbiana (Cochran *et al.*, 1989). La actividad ureasa del suelo depende pues de la síntesis del enzima en un periodo determinado, de su resistencia a la degradación y de la presencia o no de elementos inhibidores.

La síntesis del enzima depende de numerosos factores ambientales. Por ejemplo, es más lenta en suelos anaerobios que en suelos aerobios, pero una vez sintetizada, la presencia o ausencia de oxígeno no modifica su actividad, por lo que se puede decir que en última instancia, la condición oxidante o reductora de un suelo no influye en la actividad ureasa del mismo (McCarty *et al.*, 1991). Influye también la utilización de fertilizantes: la aplicación repetida de NH_4^+ disminuye la presencia de ureasa en el suelo (McCarty *et al.*, 1991).

La resistencia a la degradación depende de la capacidad del suelo de adsorber el enzima en agregados de tamaño y estructura adecuada, lo que está condicionado por el tipo y la proporción de arcillas y de materia orgánica humificada (Kanderer *et al.*, 1999), de manera que se han encontrado buenas correlaciones entre la actividad ureasa y la cantidad de materia orgánica presente siempre que no lo impidan el resto de factores ambientales que influyen en ello. Pascual *et al.*, (2002) observaron que 360 días después de haber efectuado una enmienda orgánica en suelos de huerta aún persistía el incremento de la actividad ureasa. En esta misma línea, la sucesión ecológica vegetal, tanto la natural como la que provoca el barbecho en las rotaciones, está correlacionada positivamente con la actividad ureasa (García *et al.*, 1999)

La actividad ureasa resulta inhibida por la presencia de metales pesados (Marzadori *et al.*, 2000) y algunos herbicidas como la atrazina (Brohon *et al.*, 2001)

Los métodos para cuantificar la actividad ureasa se basan todos en la medida del amonio desprendido al poner en contacto la solución de suelo con una concentración conocida de urea. Las diferencias entre ellos se basan fundamentalmente en las diferentes formas de medir el amonio, bien mediante electrodo selectivo de amonio o colorimetría.

1.7.2. Estimación de la biomasa microbiana del suelo según el método de fumigación-incubación descrito por Jenkinson y Powlson 1976 mejorado por Jenkinson y Ladd 1981

En todo estudio de la Biología del suelo, la necesidad de evaluar la biomasa microbiana es indiscutible, dado que nadie niega a los microorganismos su papel preponderante en el sistema edáfico y el ecosistema general. Una primera dificultad es delimitar qué se entiende por biomasa microbiana y si coincide con lo que se desea evaluar por su función en el suelo. Por ejemplo, cabe preguntarse si hay que discriminar entre biomasa viva y muerta o entre diversos grupos de microorganismos - bacterias, protozoos, hongos, microinvertebrados tales como rotíferos, nemátodos, ácaros etc-, y si fuera así, qué grupos serían los indicados. Una segunda dificultad consiste en elegir los métodos en función de su capacidad discriminatoria, su reproductibilidad y su complejidad, teniendo en cuenta que este tipo de medidas suele ser necesario repetir las muchas veces.

Los llamados *métodos directos* son de corte típicamente microbiológico y se centran en la observación directa mediante diversos tipos de tinciones. Permiten distinguir entre grupos, pero presentan dificultades para hacer buenas estimaciones de la biomasa microbiana.

Los *indirectos* como el seguido en este trabajo, miden el carbono, el nitrógeno o el ATP procedentes de materia viva, por lo que se puede decir que discriminan con claridad la biomasa viva e incluyen a todos los microorganismos sin distinguir entre grupos, asumiendo que estas características les permite aportar una valiosa información que no se consigue por otros medios. Estos métodos proceden en general fumigando las muestras, con lo que se supone el vertido al medio del

contenido protoplásmico. El método escogido consiste en fumigar la muestra y reinocularla con suelo no fumigado. Después se incuba y se recoge el CO₂ emitido por respiración. La diferencia con el CO₂ emitido por muestras no fumigadas de asume proporcional a la materia viva presente en el suelo.

A pesar de que los métodos indirectos discriminan entre materia orgánica viva y muerta, la realidad es que no todos los microorganismos del suelo presentan vitalidades comparables, por lo que no despejan otro tipo de importantes incertidumbres, como por ejemplo, si una misma medida obtenida en ambientes claramente distintos como puede ser un bosque estable y un campo arado tienen significados comparables en la fisiología del suelo del que procede, es decir, si biomásas equiparables de microorganismos de tipo autóctono (especialistas, de crecimiento lento) y de tipo zimogénico (oportunistas, de crecimiento rápido) pueden equipararse en su significado funcional en sus respectivos edafosistemas. El imprescindible compromiso entre la capacidad discriminadora y la complejidad experimental hace necesario asumir simplificaciones y supuestos que obligan a tomar una cierta distancia a la hora de interpretar los resultados (Albiach *et al.*, 2003).

1.7.3. Método de la absorción estática para la medición de la emisión neta de CO₂ in situ, (en adelante respiración del suelo), según Anderson (1982) modificado por Alef (1995).

El papel del suelo en el ciclo del carbono es fundamental. No solo constituye un lugar de paso de este elemento donde se produce la mayor parte de la degradación de los productos carbonados cuyo origen es la fotosíntesis, sino que constituye un reservorio de carbono que triplica al depósito atmosférico de CO₂, lo que significa que la alteración de los flujos mediante cambios en el tiempo de residencia y tasa de reposición, puede modificar tanto la estructura, estabilidad y fertilidad del suelo, en las que juega un papel fundamental la materia orgánica, como el volumen presente en la atmósfera y por tanto el efecto invernadero y el calentamiento global (Hernández y García 2003).

Entre las actividades humanas que más perturban dichos flujos están la deforestación y las labores agrícolas, que condicionan la actividad de los microorganismos y por tanto la tasa de oxidación de la materia orgánica (Bauhus y Bartel 1995). La respiración del suelo se puede expresar mediante la reacción genérica



Es por tanto evaluable a través del desprendimiento de CO₂ o del consumo de O₂, y refleja de forma estrecha la actividad biológica que se produce en los suelos bien drenados mientras que en suelos más o menos anegados y anóxicos el metabolismo es fundamentalmente fermentativo, u oxidativo dependiente del sulfato o del nitrato (como aceptores finales de electrones), y por tanto no queda reflejado en la emisión de CO₂ ni el consumo de O₂.

Se habla de respiración del suelo cuando ésta refleja la actividad metabólica de toda la biomasa viva del suelo, lo que incluye las raíces de las plantas, macro y microinvertebrados, y microorganismos en general, hongos, protozoos, algas y bacterias. Es un parámetro que se mide in situ. Por el contrario, la respiración microbiana del suelo mide la actividad metabólica de los microorganismos, excluyendo las raíces de las plantas, los macroinvertebrados y algunos microinvertebrados, y es un parámetro que se mide en laboratorio (Parkin 1996 en Hernández y García 2003).

La medida de la respiración del suelo presenta la ventaja de que el suelo no se altera en el proceso, sino que conserva el estado original (que puede estar más o menos alterado como punto de partida). Esto supone que se conservan los flujos de difusión de gases y por tanto no se ven alteradas las tasas metabólicas edáficas, que a menudo tienen esos flujos como factor limitante. Como desventaja, la medida de la respiración del suelo no permite segregar las fracciones correspondientes a cada grupo de organismos que colaboran en ellas, y es muy sensible a las condiciones de humedad y temperatura reinantes (Nannipieri *et al.*, 1994). Sasaka y colaboradores en un estudio realizado en sucesiones primarias en Noruega (Sasaka *et al.*, 2004) encontraron una Q₁₀ superior a 2,2 para la respiración de todos los suelos analizados, lo que supone que por cada 10°C que aumenta la temperatura, la respiración del suelo medida como emisión de CO₂ aumenta al menos un 220%. Las mediciones de laboratorio, al tamizar el suelo, limitan la medida al CO₂ emitido por los microorganismos y, controlando la temperatura y humedad, limitan el intervalo de variación, pero por otro lado reflejan un metabolismo que no responde al que se produce en las condiciones reales de difusión de gases del suelo, por lo que en última instancia no disminuye el grado de incertidumbre sino que cambia su origen.

El método escogido de absorción estática consistente en la captura del CO₂ por un álcali en una campana invertida situada sobre el suelo durante un tiempo dado. De entre los métodos de campo, por su sencillez, es el más ampliamente utilizado, especialmente en el estudio de las condiciones climáticas o el manejo del suelo en la actividad biológica, así como en el seguimiento de los procesos de mineralización (Hernández y García 2003).

1.8. Microbiología del suelo

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, estudiar la vida en el suelo es complejo, por el medio en sí y por el propio objeto de estudio. Entre los elementos determinantes de la actividad biológica del suelo destacan sin duda los microorganismos, que son desde hace un siglo objeto de intensos estudios en cuanto a su taxonomía, fisiología y ecología y que aún hoy no dejan de sorprender por su ubicuidad, cantidad, variedad y multifuncionalidad. Los importantes avances habidos, han tenido, sin embargo, un pobre reflejo en el desarrollo de las técnicas agrícolas convencionales que aún reconociendo teóricamente el papel de los microorganismos en los procesos del suelo, han superpuesto la aplicación de abonos y otros productos de síntesis ignorando los complejos equilibrios y bucles que permiten la presencia de nutrientes de forma equilibrada y sostenible y en los cuales los microorganismos son actores de primera línea.

Los estudios de las comunidades microbianas del suelo han abarcado todos los campos, tratando de responder a las siguientes cuestiones.

- Cantidad.
- Variedad (taxonomía).
- Distribución.
- Fisiología.
- Papel en las redes tróficas.
- Interacciones entre microorganismos.
- Interacciones con las plantas.
- Interacciones con elementos contaminantes.
- Papel en los ciclos de los elementos.

1.8.1. Cantidad de microorganismos

Cuantificar las bacterias del suelo no es tarea fácil. Tradicionalmente el método más usado ha sido el recuento de Unidades Formadoras de Colonias, pero la observación a través del microscopio genera datos hasta 100 veces mayores que las unidades formadoras de colonias, no solo debido a la dificultad de hacer crecer en medios de laboratorio a muchas especies, sino porque, al menos en suelos estables, muchas de las bacterias presentes presentan una escasa vitalidad, lo cual se demuestra porque su tasa respiratoria es mucho menor que la de bacterias similares en placas de agar en fase estacionaria. Las cantidades extremas de microorganismos comúnmente aceptadas oscilan entre un millón de bacterias por gramo en suelos desérticos hasta 10.000 millones en casos extraordinarios, con un intervalo estimado de entre 500 y 3000 millones g^{-1} en suelos agrícolas fértiles. Aplicando un volumen típico de $1 \mu\text{m}^3$ a cada bacteria y una densidad de $1,04 \text{ g cm}^{-3}$, el peso de un billón (10^{12}) de bacterias sería de 1 g en números redondos. En un suelo con 2000 millones de bacterias g^{-1} , éstas representan el 0,2% del peso del suelo, lo que supone unos 4500 kg de bacterias por hectárea en los primeros 15 cm de suelo, con un intervalo de entre 350 y 7500kg/ha (Wild 1992).

1.8.2. Taxonomía.

El uso de técnicas moleculares en la creación de árboles filogenéticos ha tenido como resultado no sólo grandes reagrupaciones de especies a todos los niveles, sino la aparición de grupos nuevos incluso al nivel de phylum. A continuación enumeramos algunos de los grupos que resultaron ser nuevos totalmente o nuevos en el suelo pero con presencia previamente conocida en otros ambientes.

- Phylum *Planctomycetes* (Neef *et al.*, 1998) se había descrito previamente en ambientes acuáticos
- Phylum *Acidobacteria* (Kurske *et al.*, 1997, Ludvig *et al.*, 1997) detectado en todos los suelos estudiados con técnicas moleculares y desconocido hasta ahora. A pesar de ser taxonómicamente muy diverso, sólo se han podido aislar y describir tres especies.
- Phylum *Verrucomicrobia*. Nuevo también para la ciencia (Hugenholtz *et al.*, 1998)
- Clase *Proteobacteria*. A esta clase pertenecen la mayor parte de los microorganismos del suelo que se encuentran en las muestras estudiadas de forma convencional.
- Clase *Actinobacteria*. A este grupo pertenecen buena parte de los Gram+

Por último, decir que se ha emprendido la tarea de secuenciar y analizar el ADN microbiológico completo de algunos suelos, pero extrayéndolo directamente del suelo, de forma que no se los puede asimilar directamente con ninguna especie en particular, por lo que constituye una nueva disciplina paralela a la taxonomía que recibe el nombre de metagenómica y esta produciendo una ingente cantidad de información que deberá ser procesada e interpretada antes de que pueda aportar nuevas luces en los viejos esquemas. Los resultados arrojan variabilidades que oscilan entre los 6.000 y los 10.000 tipos genómicos (equivalentes al de *Escherichia coli* en tamaño) para suelos orgánicos no perturbados y entre 350 y 1.500 genomas diferentes en suelos agrícolas (Nogales 2005).

1.8.3. Distribución.

La aplicación de la microscopía electrónica de barrido permitió muy pronto desechar la idea de una distribución homogénea de los microorganismos del suelo en general y de las bacterias en particular, ofreciendo un panorama de distribución por colonias adsorbidas a las arcillas y la materia orgánica. Otras técnicas posteriores como la inmunofluorescencia y la microscopía confocal láser han facilitado el estudio de la distribución espacial de conjuntos de especies. Finalmente, los estudios moleculares también han hecho su aportación a la distribución de las bacterias en distintos tipos de suelos. Todo ello ha permitido constataciones como las siguientes:

- Se ha demostrado que la diversidad microbiana asociada a partículas del suelo aumenta según disminuye el tamaño de las mismas (Sessitsch *et al.*, 2001).
- La comunidad bacteriana rizosférica, aunque tiene mayor biomasa es menos diversa que la alejada de las raíces, y con una especial riqueza de especies de la clase *Proteobacteria* (Duineval *et al.*, 2001).
- La influencia del tipo de planta y del tipo de suelo en la comunidad bacteriana (Marschner *et al.*, 2004).

1.8.4. Fisiología.

Los estudios de fisiología han formado parte del núcleo de la microbiología desde sus comienzos en el siglo XX. La fisiología de los microorganismos edáficos, aunque tuvo un espectacular comienzo con los hallazgos de Winogradsky, Beijerinck y otros pioneros se ha visto continuamente lastrada por varias dificultades inherentes a su propia esencia, entre ellas, la dificultad o incapacidad de gran cantidad de

microorganismos del suelo de crecer en medios de laboratorio, incluso fuertemente suplementados con vitaminas, aminoácidos y extracto de suelo, la incapacidad de reproducir, siquiera parcialmente la complejidad de las interacciones entre el organismo estudiado y otros muchos, a pesar de las cuales, usando ingeniosas técnicas de marcado radiactivo se ha logrado desentrañar importantes rutas fisiológicas interespecíficas. Las técnicas moleculares han dado un salto cualitativo al ser empleadas para detectar la presencia de determinados genes en los suelos, como los implicados en la nitrificación, la desnitrificación, la captación de N₂ distinguiendo si el gen está activo o no mediante la identificación de la presencia del ARNm correspondiente, todo lo cual supone aplicar estas técnicas a estudios de tipo fisiológico más allá de la taxonomía que ha sido la única aplicación durante más de 15 años (Bürgmann *et al.*, 2002). Otra imaginativa forma de usar las técnicas moleculares para testar procesos fisiológicos consiste en marcar un determinado sustrato con un isótopo pesado y comprobar luego qué microorganismos de los presentes lo han incorporado analizando su presencia en el ARNr 16s de todos ellos (Radajewski, *et al.*, 2000).

1.8.5. Papel en las redes tróficas.

Hongos y bacterias constituyen la base de la red trófica edáfica. Las bacterias son la única fuente de energía de los protozoos del suelo (amebas, ciliados y flagelados), así como de una gran parte de los nemátodos. Los hongos constituyen el 90% de la dieta de colémbolos y otros microartrópodos. Los ácaros consumen casi por igual unos y otros (Moore *et al.*, 2007). Se pueden integrar los principales elementos de la red trófica edáfica en el esquema de la figura 1.4.

La red trófica determina en buena parte el ritmo del proceso de mineralización: Las bacterias heterotróficas y los hongos obtienen su energía y sus nutrientes de la descomposición de la materia orgánica. Una parte del material descompuesto es usado para la síntesis de biomasa microbiana (crecimiento) y otra parte es mineralizada a CO₂, H₂O, nitrato, fosfato y otros nutrientes. La parte de C consumido que es convertido en biomasa bacteriana (eficiencia bruta de crecimiento, o rendimiento) puede variar de 0% a 70% . Esta amplia variación puede explicarse por la distinta calidad de los sustratos en base a las razones C:N y C:P y la complejidad molecular que la sustenta.

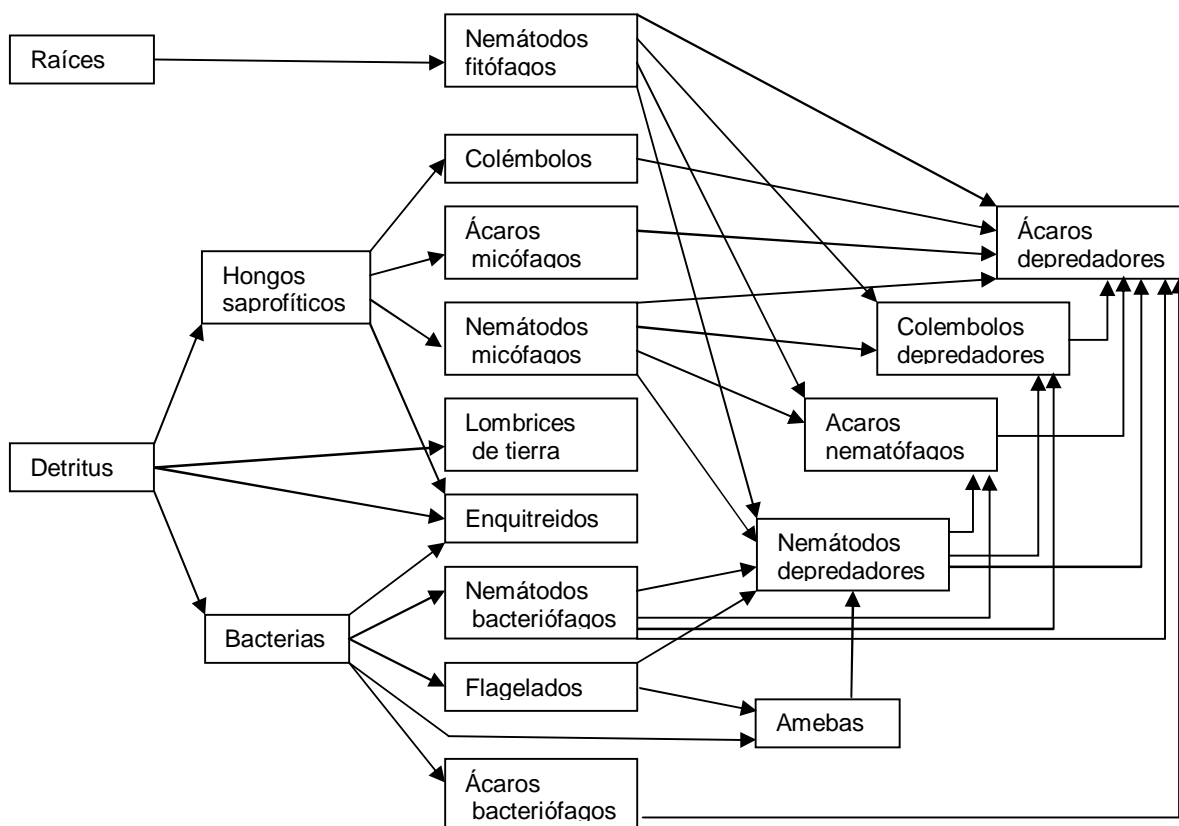


Figura 1.4. Esquema genérico de la red trófica edáfica (Ruiter *et al.*, 1994 en Bloem *et al.*, 1997).

Cuando la falta de nutrientes (N y P especialmente) es extrema, el carbono orgánico puede ser respirado sin ninguna producción neta de biomasa, aunque puede darse el caso de que las bacterias u hongos en cuestión sean capaces de acumular glúcidos de reserva -Poli- β -hidroxi-butirato (PHB) y glucógeno respectivamente- en cuyo caso la biomasa aumenta sin que se produzca división celular. La relación C:N en bacterias varía de 3 a 17 en función del sustrato descompuesto. La relación C:P entre 30 y 500. Entre los hongos se ha encontrado una variación más amplia de C:N, entre 7,1 y 44. En cualquier caso, cuando C:N supera 15 y C:P supera 60 cesa la mineralización neta pues todo el nitrógeno y el fósforo disponible en los nutrientes orgánicos se utiliza en la biomasa bacteriana (Moore *et al.*, 2007; Bloem *et al.* 1997). Los nutrientes minerales inmovilizados en la biomasa de las bacterias y los hongos son liberados cuando estos son comidos por los protozoos, nemátodos y microartrópodos microbívoros, ya que estos tienen una relación C:N igual o superior a los microbios y un rendimiento del 40%, por lo que el resto es metabolizado y las sales inorgánicas excretadas. Si a esto se añade que los protozoos microbívoros estimulan la actividad bacteriana (Atlas y Bartha 2002), queda clara su influencia positiva en los procesos de mineralización. En el esquema (Figura 1.5) se resumen los aspectos mencionados.

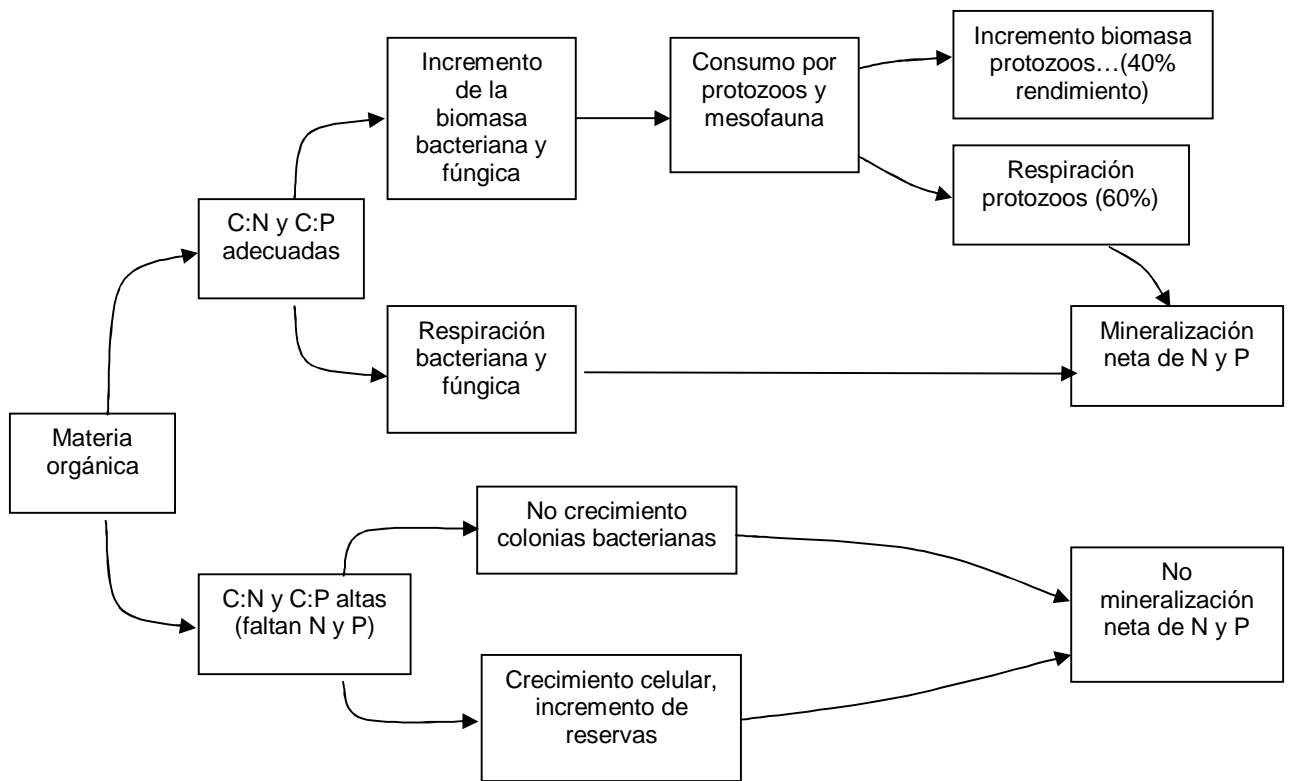


Figura 1.5. Diagrama causa-efecto para la mineralización de la materia orgánica en base a la proporción de nitrógeno y fósforo y a la acción consumidora de la cadena trófica sobre bacterias y hongos. Elaborado a partir de datos de Moore *et al.*, (2007), Bloem *et al* (1997) y Atlas y Bartha (2002)

1.8.6. Interacciones entre microorganismos.

Los microorganismos del suelo guardan entre sí fuertes lazos interactivos, ya sean sinérgicos, antibióticos o genéticos.

Las interacciones sinérgicas pueden ser mutualísticas, en cuyo caso los microorganismos afectados no pueden sobrevivir por separado, o proto cooperativas si pueden hacer vida independiente. Tanto en un caso como en otro se forman asociaciones que constituyen verdaderas rutas metabólicas que en conjunto transcurren por varias especies de microorganismos, consiguiendo así degradar un sustrato que cada uno por separado no podría. Se conocen muchos casos de organismos que viven asociados por el hecho de que uno requiere los productos de excreción del otro. Ambos pueden excretar moléculas que sirven al otro como fuente de energía, de carbono o nitrógeno. También pueden aportar vitaminas o factores de crecimiento que la otra u otras especies requieren, o recibir el beneficio de la disminución de la concentración del producto excretado por él en su entorno, que

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

puede constituir un problema para su propio crecimiento. Además de numerosos procesos naturales con estas características, se conocen también sistemas de detoxificación de biocidas de tipo mutualista como es el caso del herbicida 3,4-dicloropropionanilida, que resulta tóxico para *Geotrichum candidum* pero sustrato para *Penicillium piscarium*. El residuo de la degradación, 3,4-dicloranilina resulta tóxico para ambos pero es sustrato para *G. candidum*. El producto final, 3,3',4,4'-tetracloroazobenceno tiene muy baja toxicidad para ambos (Atlas y Bartha 2002).

En cuanto a las interacciones antibióticas se ha podido comprobar que si se inocula un suelo estéril con un conjunto de bacterias, suelen sobrevivir, pero si la inoculación se produce sobre un suelo no estéril, no sobreviven, lo cual da idea de la acción “defensiva del territorio” de los microorganismos autóctonos, defensa que puede producirse mediante la competencia por los nutrientes o la producción de antibióticos (Whipps 1997). No sólo los hongos producen antibióticos. Muchas bacterias y actinomicetos también lo hacen. Suelen llevar los genes necesarios para su síntesis en plásmidos transferibles, asociados a los correspondientes genes de resistencia que les hacen inmunes al propio antibiótico. Algunas bacterias como *Pseudomonas* excretan moléculas que han demostrado ser tóxicas no solo para otras bacterias, sino para ciliados, flagelados y sarcodinos. Parece que la cantidad de antibiótico producido por bacterias es proporcional al estado de crecimiento activo, por lo que en un suelo estable las cantidades serán mínimas, si alguna, ya que sólo cuando se ha enriquecido el suelo en sustratos ricos en energía se han podido medir cantidades de antibióticos presentes.

Los microorganismos del suelo tienen en los diversos mecanismos de transferencia de genes un importante instrumento para la adaptación y la evolución. Según se desprende de los avances habidos en este campo, conjugación, transformación y transducción no son acontecimientos ocasionales sino habituales, hasta el punto de que se puede considerar el suelo como una especie de “depósito genético” del que participan multitud de microorganismos extrayendo y aportando información (Atlas y Bartha 2002). Este hecho cobra especial importancia en estos momentos en que la producción y liberación al medio de OGMs (Organismos Modificados Genéticamente) puede convertirse en práctica común. Algunos estudios han tratado de detectar transferencias de genes procedentes de OGMs en la microbiota edáfica aunque con resultados negativos (Milling *et al.*, 2004).

1.8.7. Interacciones con las plantas

Como ya se ha dicho, las plantas emplean una parte significativa de su producción fotosintética (hasta el 30% según algunos autores) en enriquecer el ambiente circundante de la raíces con glúcidos de varios tipos así como con ácidos orgánicos, aminoácidos, vitaminas, taninos, alcaloides y fosfolípidos (Rovira, 1969 en Atlas y Bartha, 2002). Esta abundancia de nutrimento favorece la implantación y reproducción de una variada gama de microorganismos creando en conjunto la rizosfera. La importancia que la planta concede a la implantación de los microorganismos rizosféricos se puede deducir de la cantidad de recursos que gasta en crearles un ambiente adecuado. Estos microorganismos:

- Compiten con otros fitopatógenos desplazándolos del rizoplaneo mediante relaciones antibióticas (Álvarez *et al.*, 1995 en Atlas y Bartha, 2002),
- Colaboran en la movilización de nutrientes, por ejemplo, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *aerobacter*, *Flavobacterium* y *Erwinia* solubilizan fósforo (Nahas 1996; Kuma *et al.*, 2001 en Fernández *et al.*, 2005). Otro ejemplo: la disponibilidad de Mn puede ser dos ordenes de magnitud superior en rizosferas colonizadas por especies de *Banksia* que en el resto del suelo (Marschner *et al.*, 2005 en Rengel y Marschner 2005)
- Sintetizan factores de crecimiento para las plantas, por ejemplo, se ha demostrado que la emisión de fucosa por parte del maíz está relacionada con la implantación de *Azospirillum lipoferum*, bacteria conocida por producir fitohormonas del tipo auxina y citoquinina, de forma que su ausencia perjudica el crecimiento de las plantas (Sorensen 1994 en Van Elsas *et al.*, 1997).
- Detoxifican el ambiente, como por ejemplo la relación mutualista entre la bacteria filamentosa gigante *Beggiatoa* y el arroz. La bacteria que es microaerófila y quimioautótrofa elimina el ácido sulfídrico del medio anóxico encharcado donde crece el arroz, y se beneficia del oxígeno y la catalasa emitida por las raíces del cultivo (Joshi y Hollis 1977 en Atlas y Bartha 2002).

Algunos autores (microbiólogos) tienden a sostener la tesis de que la vida de las plantas está determinada por los microorganismos (Atlas y Bartha 2002), pero visto desde otro ángulo parece más lógico pensar que son las plantas las que controlan la situación determinando con sus secreciones que microorganismos quieren en su rizosfera. De hecho se ha demostrado que en suelos agrícolas las comunidades microbianas varían con el tipo de cultivo (Buckley *et al.*, 2003)

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

Lógicamente el manejo humano de los cultivos ha de tener una notable influencia en las comunidades rizosféricas, con todas las consecuencias que de ello dependen. Varios estudios demuestran cómo el tipo de fertilización condiciona las comunidades asociadas a las raíces de los cultivos (Girvan *et al.*, 2004; Sun *et al.*, 2004)

1.8.8. Microorganismos y agentes contaminantes.

Los microorganismos del suelo se ven afectados por la presencia en el suelo de elementos contaminantes, ya sean xenobióticos, es decir moléculas sintéticas orgánicas ajenas a los procesos naturales, o por concentración, generalmente originada en la actividad humana, de elementos con mayor o menor grado de toxicidad, como es el caso de los metales pesados. La implicación de los microorganismos tiene un doble cariz. Por un lado son víctimas del efecto nocivo de herbicidas y otros biocidas (El Frantoussi *et al.*, 1999; Nogales *et al.*, 2001), así como de metales pesados (Müller *et al.*, 2001) y por otro son capaces en muchos casos de metabolizar esos productos (Andreoni *et al.*, 2004), y frecuentemente las mismas especies cumplen ambos papeles. Uno de los principales efectos del manejo ecológico es eliminar este tipo de interferencias nocivas al prescindir de estas sustancias.

1.8.9. Papel de los microorganismos en los ciclos de los elementos.

Una función de los microorganismos del suelo destaca sobre las demás: su papel en los ciclos de los elementos, que se hace patente al constatar que son el único grupo de seres vivos que reúne todos los procesos para hacer funcionar el Biota en su conjunto. Los nutrientes necesarios para la vida vuelven a entrar en el sistema gracias a los procesos de desasimilación que realizan los seres vivos en general pero que solo los microorganismos pueden completar. Los elementos mayoritarios en la materia orgánica tienen ciclos complejos en muchas de cuyas etapas los microorganismos no tienen sustituto posible.

El carbono que forma los seres vivos sufre transformaciones muy variadas en las que están implicados muchos tipos distintos de microorganismos. La respiración aerobia es un proceso desasimilatorio que realizan las plantas los animales y los microorganismos aerobios. Oxida el carbono a CO₂ que pasa a la atmósfera. En el suelo los microorganismos están más o menos especializados en procesar

determinados tipos de moléculas. *Pseudomonas* y *Bacillus* como aerobias y *Vibrio* y *Escherichia* como facultativas, son de los principales géneros que se ocupan de la degradación de moléculas orgánicas de la materia orgánica fresca. *Mixococcus*, *Chondrococcus*, *Archangium*, *Polyangium*, *Cytophaga*, *Cellulomonas*, *Streptomyces* y *Nocardia*, pueden además degradar la celulosa, tarea que realizan de forma más especializada hongos como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Phoma* y *Trichoderma*. la degradación de la lignina es fundamentalmente tarea de hongos como *Phanerochaete*, *Agaricus*, *Pleurotus*, *Polyporus*, *Fusarium*, aunque participan bacterias como *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*. En ambiente anaerobio se producen una variedad de transformaciones distintas de la materia orgánica que dan como resultado alcoholes y ácidos orgánicos. *Clostridium*, *Veillonella*, *Bacteroides*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus* pertenecen a este heterogéneo grupo (Atlas y Bartha 2002). Los productos de la actividad de estas variadas bacterias pueden ser utilizados como sustratos por otras acetógenas y metanógenas. El metano producido puede ser consumido por las metanotróficas o escapar a la atmósfera (suelos pantanosos). Los productos de fermentación también pueden acumularse en el suelo hasta que se produce aerobiosis y son eliminados como CO₂ a la atmósfera. En determinadas circunstancias se pueden almacenar de forma indefinida dando lugar a hidrocarburos mediante transformaciones abióticas. Una parte muy significativa de los procesos desasimilatorios del carbono ocurren en el suelo. Hay que tener en cuenta además que el reciclado del carbono se solapa con el de los demás nutrientes al constituir el almacén básico del que todos ellos participan, por lo que el ambiente y la velocidad a la que se produzcan los procesos mencionados de degradación condiciona de forma importante la disponibilidad de todos ellos. Identificar los ritmos de los procesos a través de la presencia de los microorganismos que los realizan se convierte en un importante test en suelos agrícolas en los que no se realizan aportes externos. Este es el fundamento de algunos de los análisis llevados a cabo en los ensayos de esta tesis, en concreto, la presencia de celulolíticos, amilolíticos y proteolíticos, con el fin de detectar ritmos estacionales y variaciones en función de distintas técnicas de cultivo. El esquema de la Figura 1.6 resume los procesos más importantes del ciclo.

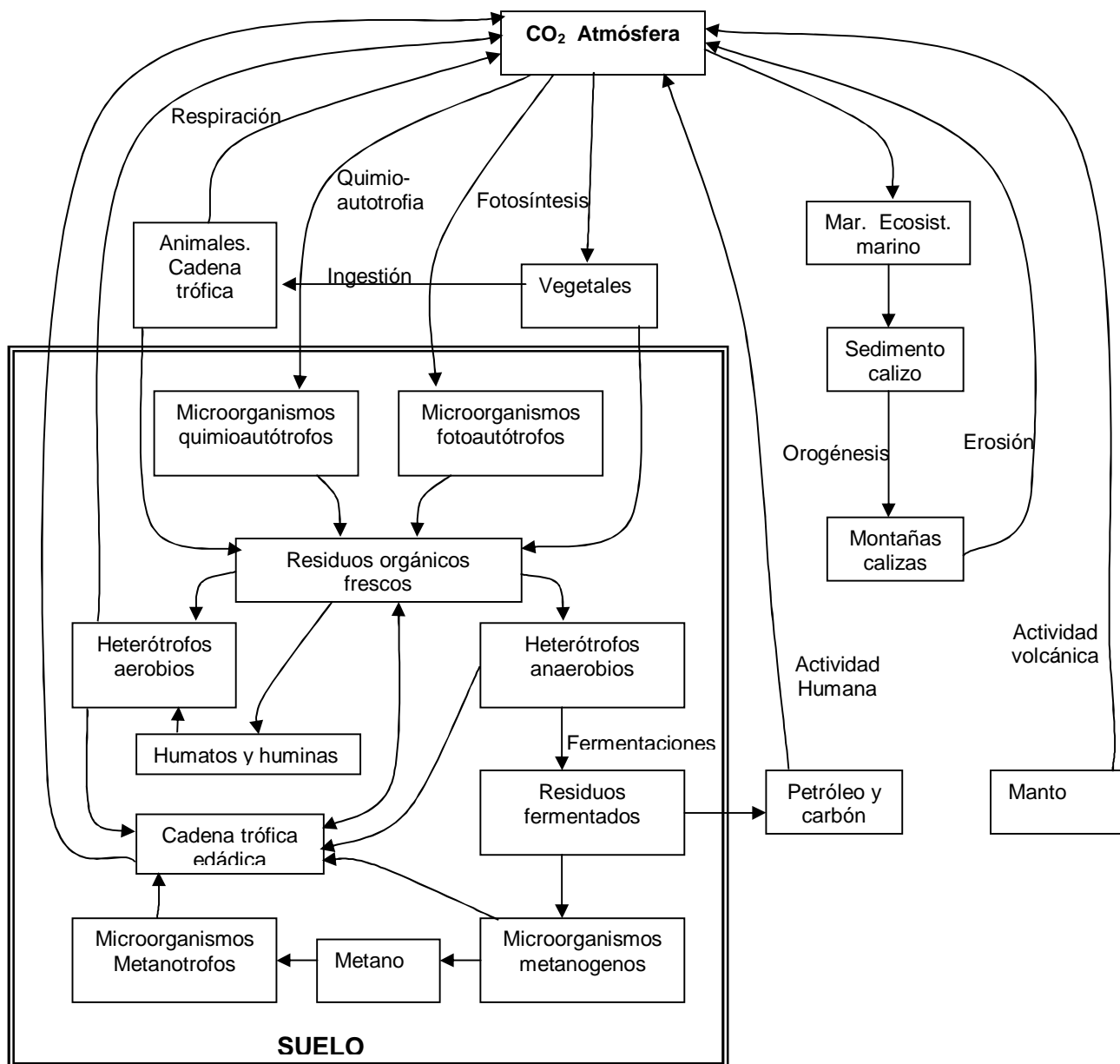


Figura 1.6. Principales procesos del ciclo del carbono en el suelo destacándose los grupos de microorganismos implicados en los procesos edáficos. Elaborado a partir de varias fuentes.

El nitrógeno sigue en importancia al carbono en la materia viva. A diferencia de otros nutrientes con fuerte presencia en la fase mineral del suelo como el K, P o S, el depósito edáfico del N es relativamente pequeño por lo que las pérdidas en el ecosistema han de ser suplidas a partir del gran depósito atmosférico. La fijación reductora de nitrógeno atmosférico la llevan a cabo una variedad de microorganismos, cianobacterias como *Oscillatoria*, *Rivularia* y *Gloeocapsa*, fijan nitrógeno molecular bien en régimen de vida libre bien formando asociaciones simbióticas estables con hongos (líquenes) o asociaciones circunstanciales. Otro grupo implicado son las bacterias simbióticas nodulantes en raíces de plantas, como *Rhizobium* y afines o *Frankia*. Por último, los diazótrofos son bacterias heterotróficas

de vida libre que mientras pueden obtienen su nitrógeno de la materia orgánica de la que se alimentan. Si esta materia orgánica es pobre en nitrógeno (alta relación C/N) entonces pueden activar el sistema de fijación de nitrógeno molecular. El sistema no es muy eficiente porque necesitan anoxia y eso disminuye la velocidad de procesamiento del carbono y por tanto la cantidad de energía obtenida. *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Azospirillum* son habitualmente aerobias. *Clostridium*, que a veces presenta esta habilidad es anaerobia estricta.

La mineralización es el nombre genérico que se da al paso de nitrógeno orgánico a diversas formas de nitrógeno inorgánico. Tiene varios procesos distintos, empezando por la hidrólisis de macromoléculas, bien en régimen anaeróbico (*Clostridium*) por el que las proteínas dan lugar a aminas (putrescina) y otras moléculas orgánicas nitrogenadas, por lo que no concluye la mineralización, o bien en régimen aerobio (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthobacter*, *Mycobacterium*...) que da como resultado la formación de NH_4^+ que por su carga tiende a fijarse en el complejo de cambio catiónico. La amonificación se produce también a partir de la urea presente en el suelo como resto metabólico de muchos organismos mediante el enzima ureasa. Tras la amonificación se produce la nitrificación, que es la oxidación del amonio a nitrito realizada principalmente por el microorganismo quimioautotrófico *Nitrosomonas* (y otros como *Nitrospira* y *Nitrosococcus*) y finalmente la nitratación que es la transformación del nitrito a nitrato principalmente por el quimioautótrofo *Nitrobacter* (y otros como *Nitrospira* y *Nitrococcus*).

Si se produce anoxia, habitualmente por encharcamiento, y el suelo tiene suficiente materia orgánica como fuente de energía, organismos como *Pseudomonas* habitualmente aerobios, pueden usar el nitrato como aceptor de electrones en lugar del oxígeno (respiración anaerobia) reduciéndolo a nitrógeno molecular y perdiéndose como gas hacia la atmósfera (desnitrificación).

El esquema de la figura 1.7 resume los elementos más importantes del ciclo

Medir la presencia de los organismos de distintas fases del ciclo resulta de interés para comprender cuáles son los ritmos e intensidades de mineralización de los restos orgánicos presentes y en base a ello cual es la forma preferida de absorción de nitrógeno por los cultivos y si distintos manejos en la siembra pueden condicionar la disponibilidad de N.

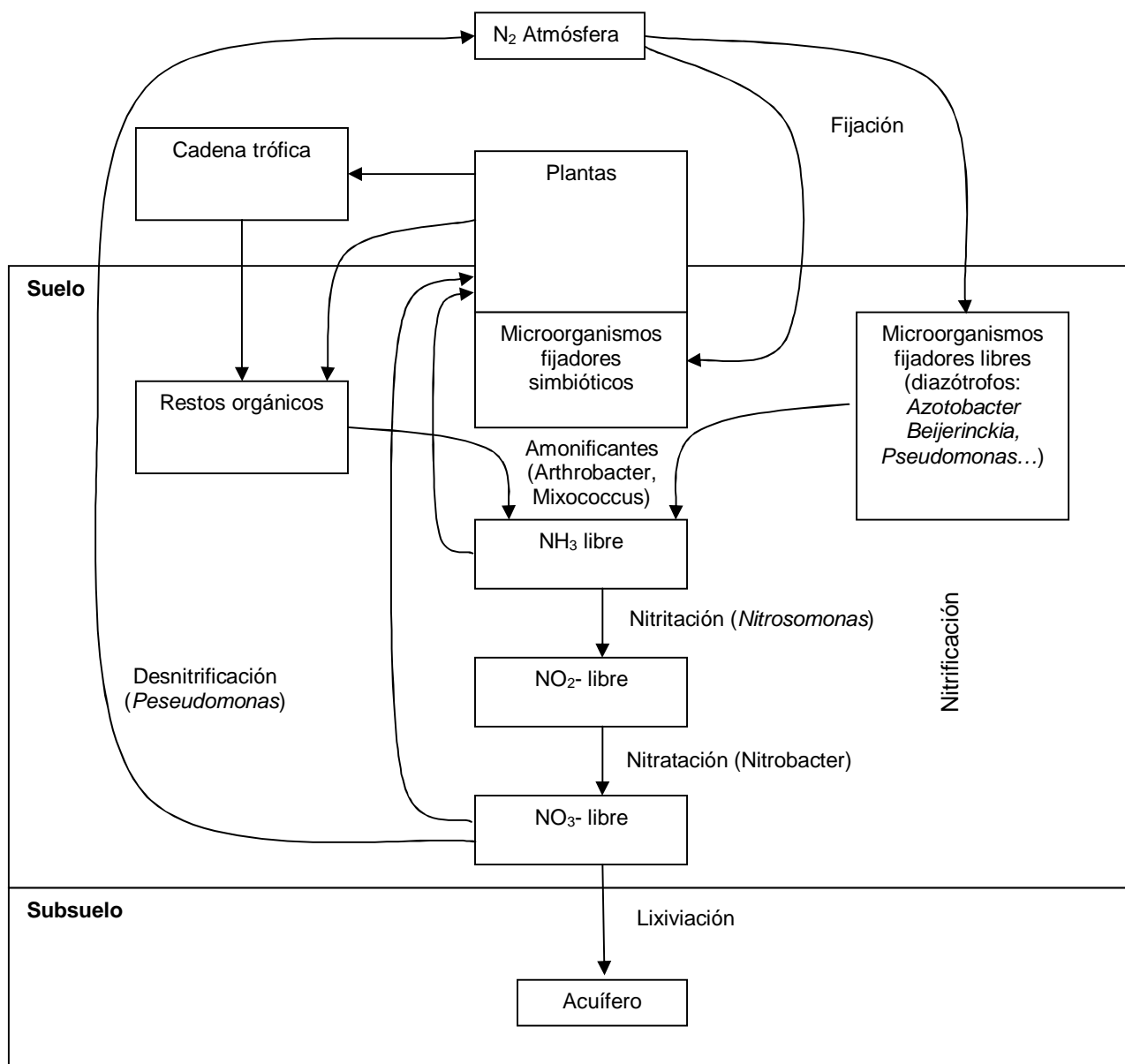


Figura 1.7. Principales procesos y depósitos del ciclo del nitrógeno. Elaborado a partir de varias fuentes.

1.9. Arvenses.

Las arvenses, como los demás elementos del agrosistema, también son vistas desde una perspectiva diferente en la Agricultura Ecológica. Evitando en todo caso la tendencia simplificadora y por tanto los conceptos de “lucha contra” y de “eliminación”, la AE prefiere los conceptos de tolerancia y control que podría denominarse orgánico. Tolerancia, porque desde una perspectiva complejiva no todo es negativo en ellas, y control orgánico porque se trata primordialmente de desarrollar métodos de manejo por los que se favorezca a los cultivos en el proceso de competencia.

1.9.1. Tolerancia.

Una discreta presencia de arvenses no tiene que suponer una disminución del rendimiento. Ensayos realizados en cebadas en rotación con barbecho en secano semiárido no obtuvieron diferencias de producción entre la escarda química, la mecánica (grada de púas flexibles) y las parcelas no escardadas (Zaragoza 1999 en Zaragoza 2004). Algunos estudios determinan el umbral de daños de diversas especies arvenses sobre cereales, entendiendo este como la disminución de producción a partir de la cual los tratamientos comienzan a ser menos costosos que las pérdidas (Stigliani y Resina 1993 en Zaragoza 2004). En la tabla 2 se recogen algunos de estos resultados.

Tabla 1.5. Número de plantas que suponen el umbral de daños en cereales (Stigliani y Resina 1993 en Zaragoza 2004)

Gramíneas		Dicotiledóneas	
<i>Avena fatua</i>	5 plantas/m ²	<i>Galium aparine</i>	5 plantas/m ²
<i>Phalaris brachistachis</i>	10 “	<i>Sinapis arvensis</i>	2 “
<i>Lolium rigidum</i>	20 “	<i>Cirsium arvense</i>	3 “
<i>Alopécurus myosuroides</i>	26 “	<i>Polygonum aviculare</i>	10 “
		<i>Papaver roheas</i>	22 “
		<i>Matricaria camomilla</i>	22 “
		<i>Fumaria officinalis</i>	25 “
		<i>Verónica hederifolia</i>	44 “

Por otro lado, mientras que algunos cultivares mantienen el rendimiento mediante la supresión de las arvenses (efecto competitivo) otros lo hacen sin evitar su presencia sino compitiendo directamente con ellas por los nutrientes (respuesta competitiva) (Mason *et al.*, 2007a). Esto tiene como resultado que las correlaciones entre presencia de arvenses y producciones son a menudo difusas o inexistentes como es el caso del trabajo de Mason y colaboradores sobre cultivares de trigo y cebada, así como otros citados por él como Goldberg y Landa 1991, y Goldberg y Fleetwood 1987.

Por último, la presencia de arvenses también puede reportar beneficios al agrosistema:

- Según el tipo de cultivo y la pendiente del terreno, pueden contribuir más o menos a limitar la erosión tanto por disminuir la escorrentía y, por tanto, favorecer la infiltración, como por evitar el efecto mecánico de la lluvia sobre el suelo desnudo.

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

- Pueden acumular los recursos excedentes de los cultivos en forma de biomasa, que al ser incorporada al suelo mejora la estructura y la humectabilidad del suelo.
- Segadas y dejadas como acolchado, disminuyen la pérdida de humedad del suelo.
- Si entre ellas hay leguminosas suponen una entrada neta de nitrógeno.
- La presencia de arvenses aumenta la biodiversidad lo que revierte en una mayor estabilidad de las poblaciones del agrosistema. Por ejemplo, aumentan la posibilidad de implantación de agentes depredadores de fitófagos, contribuyendo a su control. En estudios realizados en frutales en Lérida, la presencia de ácaros entomófagos en arvenses superó siempre al de fitófagos (Taberner 1992 en Zaragoza y Cirujeda, 2004). También suponen a veces un huésped de preferencia para las plagas potenciales, por lo que su presencia en ellas no debe ser interpretada siempre como un reservorio sino como un sumidero de la plaga. Entre las causas que se aducen para la aparición de daños por ácaros en vid y otros frutales a partir de la década de los 80, están la excesiva limpieza de arvenses, que les privó de sus lugares preferidos de residencia y tuvieron que refugiarse en el cultivo como única opción (García Marí *et al.*, 1987)
- En aquellos ambientes en los que se resiembra la semilla cosechada, la permeabilidad genética entre los cultivos y las arvenses puede enriquecer la base genética del cultivo aportándole resistencias y rusticidad (Zaragoza, 1998, Altieri 1995, Lampkin ,1992 y Mesa, 1996 en Labrador y Porcuna, 2004)

1.9.2. Métodos de control.

Existe toda una batería de métodos de control de arvenses que se pueden usar bajo cualquier sistema de manejo agrícola pero , dado que en AE son los únicos métodos que le son permitidos, forman parte del manejo habitual y requieren un especial esfuerzo de complementariedad y optimización. Hay que reconocer, sin embargo, que en algunos casos adolecen de falta de investigación científica actualizada y de un menor desarrollo tecnológico (Zaragoza y Cirujeda, 2004).

Los métodos preventivos tratan de evitar que lleguen nuevas semillas al banco del suelo. Entre ellos están el uso de semilla certificada y de compost libre de semillas de arvenses y la detección precoz de infestaciones. Entre los métodos culturales destacan las rotaciones, los cultivos asociados, los cultivos alelopáticos, la fecha de siembra, la densidad de siembra, y la selección varietal .

El manejo de las rotaciones es crucial en AE por aspectos tan importantes como el manejo de la biodiversidad y la gestión de la fertilidad del suelo, y también lo es por el

manejo de las arvenses. Rotar los cultivos dificulta el establecimiento de comunidades especialmente adaptadas a un cultivo concreto por efecto de las incompatibilidades más o menos severas que puedan tener con otros, pero sobre todo porque si los cultivos difieren en el ciclo, es posible el control mediante el laboreo. Por ejemplo, la siembra de girasol permite escardar hasta principio de la primavera. Otro ejemplo, O'Donovan *et al.*, (2007) comparando varios sistemas para el control de arvenses encontraron que el que disminuía drásticamente el banco de semillas era la introducción en la rotación de un forraje de siega temprana. Los beneficios de la rotación en principio crecen con el número de hojas de la misma, pero comparando varias rotaciones binarias en secano semiárido puede resultar más efectiva para controlar la población adventicia la rotación cebada-barbecho (Chao *et al.*, 2002), y por otro lado establecer rotaciones amplias en secano semiárido puede constituir un problema por cuestiones de mercado.

La asociación de cultivos crea sinergias que favorecen su desarrollo vegetativo compitiendo ventajosamente con la comunidad arvense. Para el secano semiárido la asociación de veza y avena resulta muy positiva, creando una cubierta vegetal densa que asfixia a las arvenses, según se ha podido comprobar en la propia finca Matallana en parcelas de producción no sometidas a investigación.

La introducción intercalada de cultivos de probado carácter alelopático ha resultado ser efectiva para el control de arvenses, tal como se pudo comprobar en ensayos llevados a cabo en también en la finca Matallana (Urbano *et al.*, 2006). Se probaron cuatro cultivos: centeno (*Secale cereale*), sorgo (*Sorghum bicolor*), pasto del Sudán (*Sorghum sudanense*) y esparceta (*Onobrychis viciifolia*). Los cuatro presentaron una disminución del cubrimiento de arvenses, siendo las especies de sorgo, y especialmente el pasto del Sudán (con un 1,33% de cobertura) las que supusieron un mejor control frente al testigo (13% de cobertura) y barbecho (7%). Las producciones del cultivo principal, cebada en este caso, se vieron también significativamente afectadas. Las parcelas sembradas previamente con pasto del Sudán produjeron 3.154 Kg/ha de media, mientras que las testigo produjeron 1.570 kg/ha.

La fecha de siembra va en principio implícita en las rotaciones, pero un mismo cultivo es susceptible de ser sembrado con un margen temporal de entre algunas semanas y dos meses o incluso algo más. Si la parcela está razonablemente limpia, lo conveniente es sembrar cuanto antes para favorecer la capacidad competitiva del cultivo frente a las arvenses. Si la parcela necesita un cuidado especial a este

Capítulo 1. Introducción y antecedentes

respecto, se puede retrasar al máximo el cultivo y realizar las labores de preparación como si se fuera a sembrar para favorecer la germinación de las arvenses y realizar una escarda superficial para eliminarlas, esto se puede repetir dos o tres veces si el caso lo requiere. A esta técnica se le denomina *falsa siembra* (Zaragoza y Cirujeda 2004).

La densidad de siembra también se ha empleado en agricultura ecológica como elemento de control de arvenses (Zaragoza y Cirujeda 2004). La hipótesis es que altas densidades crearán unas condiciones de competencia superior del cultivo con las arvenses. La densidad de siembra como controladora de arvenses se ha ensayado no solo en agricultura ecológica. En el marco de la agricultura integrada, Brennan *et al.*, (2009) han encontrado correlaciones entre la densidad de siembra y la biomasa de arvenses, pero no con los rendimientos, lo que parece indicar que hay cultivos que ejercen las dos tácticas para competir con las arvenses observadas por Mason (Mason *et al.*, 2007a): *efecto competitivo* a alta densidad de siembra, impidiendo el desarrollo de las mismas, y *respuesta competitiva* a baja densidad de siembra, compitiendo ventajosamente con las arvenses presentes por la absorción de nutrientes. Otros autores (Paynter *et al.*, 2009) si encuentran correlaciones de densidad de siembra con arvenses y producciones, pero se trata de monocultivo de cebada convencional en competencia provocada artificialmente con ballico (*Lolium rigidum*).

Una variante de la densidad de siembra consiste en modificar el patrón de líneas de cultivo: El cultivo en líneas agrupadas o líneas pareadas (Benaiges, 1964; Lacasta 2003) consiste en acercar las líneas de siembra en grupos de dos o tres dejando entre ellos pasillos de 50-60 cm para que el tractor no solo pueda introducirse en el cultivo en estados vegetativos más avanzados, sino que pueda binar estos pasillos para eliminar las arvenses, que en las líneas no podrán competir con el cultivo por su densidad y vigor, ya que la hipótesis es que la falta de competencia en los pasillos, tanto por el agua y los nutrientes como por la luz, provoca su invasión por el cultivo, subterránea por parte de las raíces y aérea por el aparato vegetativo, generando biomásas comparables a las densidades de siembra mayores (Lacasta 2003. Lacasta *et al.*, 1997). En ensayos realizados en agricultura convencional sobre cultivos de cacahuete se obtuvieron mejoras en el control de arvenses del 80% en comparación con otras a las que solo se había aplicado herbicida (Brecke y Stephenson 2006). En los ensayos que se presentan en esta tesis se ponen a prueba tanto la siembra en alta densidad como en líneas pareadas.

Aunque no el más importante, uno de los elementos que justifican la selección varietal en los cultivos es su capacidad de competir con las arvenses, que en agricultura ecológica cobra especial importancia. Las variedades más rústicas, con mayor tasa de crecimiento en las fases iniciales y con una expansión foliar superior serán en principio las más competitivas (Torner *et al.*, 1999 en Zaragoza y Cirujeda 2004). Resulta muy interesante que las correlaciones entre la capacidad supresora de las variedades y su productividad no son en absoluto estrechas, Hoad *et al.*, (2008), por ejemplo, encontraron correlaciones entre 0,34 y 0,40 estudiando la capacidad supresora de arvenses de 16 variedades de trigo de invierno en Finlandia. El principal elemento causante de estas difusas correlaciones puede ser la contraposición existente entre las características morfológicas de las variedades en lo que se refiere a su productividad y a su efecto competitivo. Peltonen-Sainio *et al.*, (2009) encuentran una clara correlación positiva entre la productividad y el índice de cosecha en varios cultivares de trigo, avena y cebada, lo que supone unos mayores rendimientos en variedades enanas y semienanas, lo cual es lógico porque dedican menos esfuerzo fotosintético a crear masa verde. Por su parte O'Donovan *et al.*, (2007) encuentran que las variedades de mayor talla y por tanto con menor índice de cosecha y menos productivas, son las que mejor efecto competitivo ejercen con las arvenses, lo cual también es lógico porque les privan mejor de la luz. No es de extrañar por tanto que no se observen correlaciones claras entre capacidad supresora de arvenses y productividad. En la investigación de esta tesis se ponen a prueba tres variedades de cada cultivo en rotación .

Entre los medios físicos de control de arvenses, el principal para la agricultura ecológica de secano es la escarda mecánica. El pase de grada de discos o de cultivador forma parte de la rutina habitual de preparación del lecho de siembra. En el sistema de líneas pareadas, el aricado de los carriles libres de cultivo hay que realizarlo con un apero modificado al efecto para no dañarlo.

Otros métodos físicos como la piroescarda o escardado mediante quemadores, el uso de plástico o papel para solarizar o simplemente ahogar las arvenses, son inadecuados para secano pero susceptibles de ser usados en cultivos hortícolas más o menos intensivos (Ascard y Fogelberg 2002 en Zaragoza y Cirujeda 2004).

Capítulo 2. Objetivos.

Objetivo general

Análisis de variedades y técnicas de siembra en una rotación de cebada, veza, avena y yeros en condiciones se secano semiárido en régimen ecológico, y de la evolución de parámetros químicos y biológicos del suelo.

Objetivos específicos

1. Analizar los efectos de diferentes técnicas de siembra en el desarrollo de arvenses y su correlación con la productividad.
2. Analizar la productividad de tres variedades de cebada, avena, vezas y yeros, y su correlación con el comportamiento frente a las plantas arvenses.
3. Analizar la evolución temporal de los principales parámetros químicos del suelo y la posible influencia en ellos de los distintos cultivos, técnicas de siembra y condiciones climáticas.
4. Analizar la evolución temporal, la influencia ambiental y los posibles efectos de diferentes técnicas de siembra sobre tres indicadores de la actividad biológica del suelo y siete grupos metabólicos de microorganismos implicados en los ciclos del carbono y el nitrógeno.

Capítulo 3. Materiales y métodos.

3.1. Localización del ensayo. Suelo y clima.

Las parcelas experimentales se localizaron en la finca “Coto Bajo de Matallana” de la Diputación Provincial de Valladolid, situada en el término municipal de Villalba de los Alcores, en el límite con la provincia de Palencia, latitud 41° 54' 21-31”, longitud 4° 51' 44-49”. Altitud 750m.

Suelo. Los ensayos se desarrollan en un Lithic Xeric Haplocalcids (Soil Taxonomy) en el margen erosivo del páramo calizo de la meseta norte ibérica.



Figura 3.1.1. Corte estratigráfico del suelo de la finca hasta dos metros de profundidad.

Clima: Según la clasificación climática de Papadakis, el tipo de invierno es avena fresca, el tipo de verano, maíz, el régimen térmico, mediterráneo cálido y el régimen hídrico mediterráneo seco, por lo que la unidad climática correspondiente es mediterráneo templado.

3.2. Material vegetal.

A continuación se describen las variedades utilizadas en el estudio.

3.2.1. Cebada (*Hordeum vulgare* L.).

Volley. Cebada de dos carreras y ciclo largo. Variedad registrada en el año 1997 con el número 19950104. Posee vello en la gluma inferior. Porte postrado con altura media.

Capítulo 3. Materiales y métodos

La vellosidad de las raquillas son pelos largos. Ausencia de vellosidad en el surco ventral del grano. Es una cebada de gran rusticidad que le aporta seguridad en distintas condiciones. En zonas de alto potencial la producción es elevada. Presenta también buena resistencia a las enfermedades típicas de la cebada. El grano posee un peso específico elevado. País de obtención Gran Bretaña.



Figura 3.2.1. Parcela elemental con cebada de la variedad *volley*. Junio 2008



Figura 3.2.2. Parcela elemental con cebada de la variedad *hispanic*. Junio 2008

Hispanic. Cebada de dos carreras (díctica), de ciclo largo. Registrada en el año 1993 con el número 19923261. Plantas de porte semierecto a medio al final del ahijado. Espiga de

dos carreras, semilaxa, fusiforme y de longitud media. Ausencia de pigmentación antociánica en las aristas. Grano vestido, con pelos largos en la raquilla, ausencia de vellosidad en el surco ventral y débil dentado en los nervios laterales internos de la lema. Ausencia de retención de pigmentación antociánica en los nervios de la lema. Ciclo largo, precoz. Indicada para siembras tempranas de otoño a medio invierno en zonas frías y siembras muy tempranas de otoño en zonas templadas. Muy elevada productividad y bastante exigente en condiciones de cultivo. Talla baja a muy baja. Algo sensible al frío. Resistente a encamado.

Garbo. Variedad de origen sueco registrada en 1989 con el número 19860322. Porte postrado. Espiga laxa de dos carreras, grano vestido. Ciclo medio a corto. Tardía. Siembra de medio invierno en zonas frías. Elevada capacidad productiva. Talla baja. Resistente al frío. Sensible a la roya parda. Susceptible al oidio. Grano de elevado peso específico



Figura 3.2.3. Parcela elemental con cebada de la variedad *garbo*. Junio 2008

3.2.2. Veza (*Vicia sativa* L.).

Aitana. Variedad inscrita en 1993 con el número 19890320. No se dispone de descripción.

Amethyste. Variedad no registrada. Planta anual rústica de medio tamaño. Flores de color violeta. Producciones medias. Valor nutritivo de forraje alto.

Senda. Variedad española registrada con el número 19820258. Precoz. Indicada para producción de grano. Muy buen comportamiento frente al frío y la sequía (Figura 3.2.4)



Figura 3.2.4. Parcela elemental con veza de la variedad *senda*. Junio 2008

3.2.3. Avena (*Avena sativa* L.).

Byzantina. Variedad no registrada. Cultivada para grano y forraje. Se adapta a condiciones cálidas mejor que la avena común, y es más resistente a la sequía. Apetecible para el pastoreo.

Chapline. Variedad no registrada. Más sensible al encamado que otras variedades por su alto porte. Siembra otoñal. Apetecible para el pastoreo. Muy productiva. Tamaño del grano, grande.

Fringante. Variedad alemana de grano negro. No registrada. Elevada capacidad de ahijamiento. Apta para pastoreo. Tallo de longitud media. Ciclo largo. Siembra otoñal, aunque se adapta también a la siembra a final del invierno. Resistente a oidio y a las royas parda y negra. Muy resistente al desgrane. Grano de elevado peso específico (Figura 3.2.5).



Figura 3.2.5. Parcela elemental con avena de la variedad *clapline*. Junio 2008

3.2.4. Yeros (*Vicia ervilia* L. Willd).

Del Pais. Ecotipo de Tierra de Campos. No registrado. Talla media. Grano verdoso. Fractura rojiza. Porte erguido. Relativamente tolerante a encamado. Se adapta muy bien a los suelos arcillosos, secos y áridos. Ciclo largo, otoñal. Resistentes al desgrane de las vainas.



Figura 3.2.6. Parcela elemental con yeros de la variedad *campuzano*. Mayo 2007

Torozos. Ecotipo de la zona de Torozos, provincia de Valladolid. No registrado. Talla media baja. Siembras otoñal y primaveral. Grano grisáceo. Resisten bien al encamado. Buena adaptación a terrenos calizos y pedregosos.

Campuzano. Ecotipo castellano tal vez procedente del norte de Palencia y Burgos. No registrado. Usado en la mezcla veza-yeros-titarros (“camuñas”) para la alimentación del ganado. Grano grueso. Porte relativamente alto. Muy buena adaptación al frío. Siembra otoñal.

3.3. Diseño experimental.

3.3.1. Diseño estadístico de la parcela.

La alternativa de cultivos y su correspondiente rotación fueron fijados de antemano por lo que no ha sido considerada un tratamiento. Dicha rotación es cebada-veza-avena-yeros. El estudio consta de cuatro subparcelas por las que fueron rotando los cuatro cultivos en el orden indicado (Tabla 3.3.1; Figura 3.3.1). Cada subparcela constó de 27 parcelas elementales de 6 x 30 metros. Dentro de cada subparcela el diseño estadístico fue factorial completamente aleatorizado, con dos factores y tres repeticiones. Los factores fueron las variedades -tres variedades por cultivo- (apartado 3.2), y las técnicas de siembra (apartado 3.3).

Los cultivos rotan en las subparcelas, pero se mantienen los emplazamientos de las técnicas de siembra con el fin de que se acumulen año tras año los posibles efectos beneficiosos o perjudiciales sobre el suelo, y su actividad biológica (Figura 3.3.1).

Tabla 3.3.1. Rotaciones en las cuatro subparcelas del estudio

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Subparcela 1	Veza	Avena	Yeros	Cebada	Veza
Subparcela 2	Cebada	Veza	Avena	Yeros	Cebada
Subparcela 3	Avena	Yeros	Cebada	Veza	Avena
Subparcela 4	Yeros	Cebada	Veza	Avena	Yeros

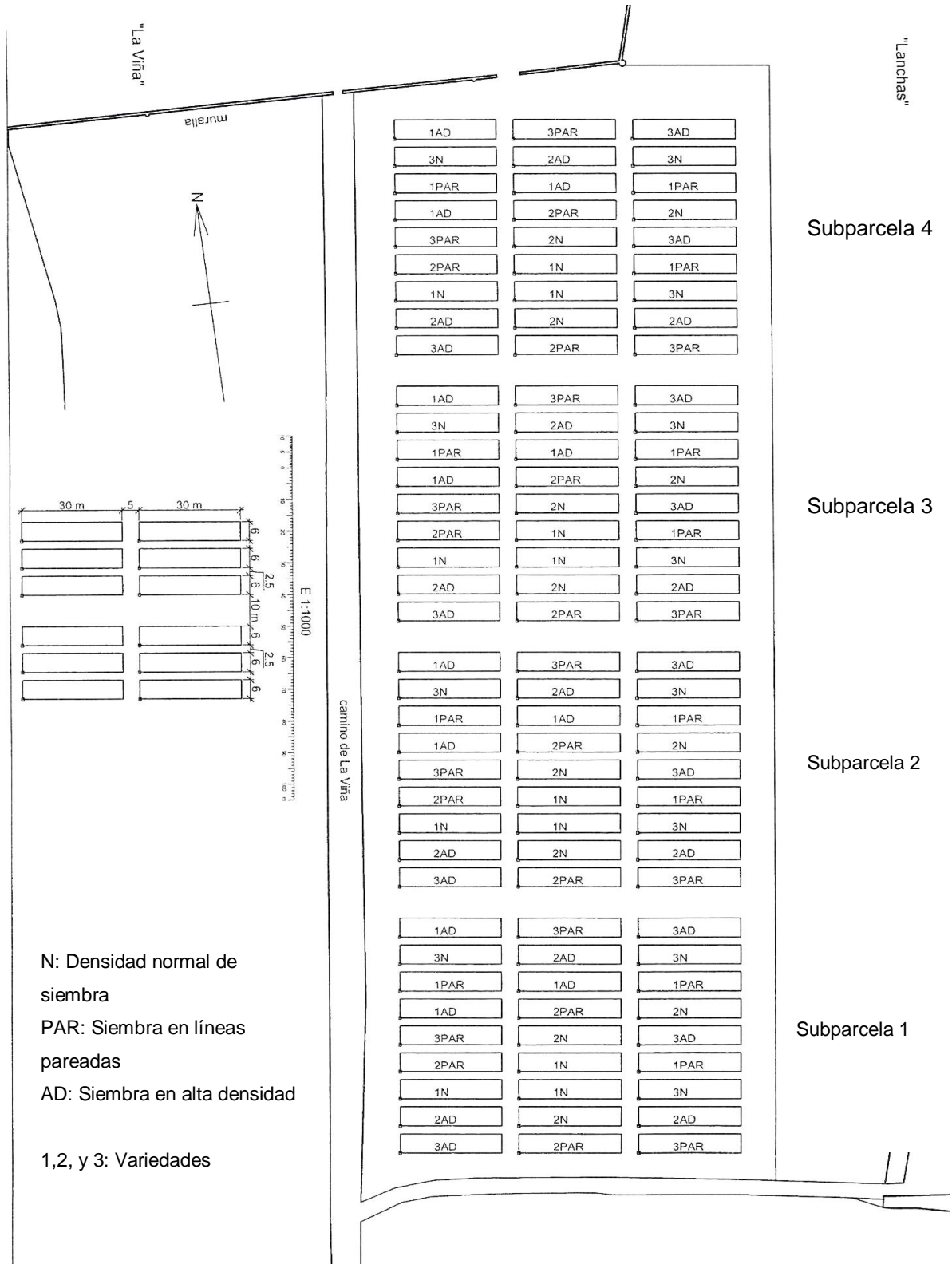


Figura 3.3.1. Esquema del campo de ensayos

3.3.2. Técnicas de siembra ensayadas.

- **Densidad de siembra normal.** Se sembraron los cultivos con las densidades consideradas habituales en la zona, que son las siguientes: cebada a 170 kg ha^{-1} , avena a 150 kg ha^{-1} , veza a 130 kg ha^{-1} y yeros a 100 kg ha^{-1} con una distancia entre líneas de 16,5 cm.
- **Siembra en líneas pareadas.** Se sembraron dos líneas en alta densidad de semillas por línea separadas entre sí 16,5 cm. La distancia entre pares de líneas fue de 49,5 cm. De esta forma puede entrar el tractor en cualquier momento del desarrollo del cultivo y aricar con un cultivador con reja de cola de golondrina sin dañarlo. El fundamento del control de arvenses mediante esta técnica se basa en su eliminación de los pasillos mediante el aricado y en la fuerte competencia del cultivo en las líneas de siembra (Benaiges 1964). Las densidades en peso por superficie son las mismas que las usadas en la técnica de densidad normal. Las densidades resultantes en semillas por superficie y semillas por línea figuran en la tabla 3.3.2 junto con las del resto de técnicas de siembra.
- **Alta densidad de siembra.** La siembra en alta densidad pretende crear un ambiente en el que el cultivo compita con ventaja sobre las arvenses impidiendo su desarrollo. Las densidades usadas son las siguientes: cebada a 240 kg ha^{-1} , avena a 190 kg ha^{-1} , veza a 190 kg ha^{-1} y yeros 140 kg ha^{-1}

Tabla 3.3.2. Densidades de siembra en peso por superficie, semillas por superficie y semillas por línea para las tres técnicas de siembra en cada uno de los cuatro cultivos. El cálculo de las semillas por metro lineal y metro cuadrado se ha realizado en base a los pesos medios de las semillas.

	AD			LP			DN		
	kg ha^{-1}	sem m^{-2}	sem m^{-1}	kg ha^{-1}	sem m^{-2}	sem m^{-1}	kg ha^{-1}	sem m^{-2}	sem m^{-1}
Cebada	240	585	97	170	414	136	170	414	68
Veza	190	407	70	130	278	92	130	278	46
Avena	190	585	96	150	462	152	150	462	76
Yeros	140	356	59	100	254	84	100	254	42

3.3.3. Descripción de cada uno de los ensayos y sus correspondientes estudios estadísticos.

3.3.3.1. Estudio químico del suelo.

ANOVA 1. Se consideraron cinco campañas (2003-2008). Las variables independientes consideradas fueron: campañas (5), cultivos (4), técnicas de siembra (3) y repeticiones (3). Todo el estudio se realizó para una sola variedad por cultivo. Se realizó análisis de la

varianza de las variables independientes -y sus interacciones- para de las siguientes variables dependientes:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- Nitrógeno total
- Cociente carbono/nitrógeno
- Carbonatos totales
- Fósforo
- Potasio
- Magnesio
- Calcio
- Sodio

3.3.3.2. Estudio de la actividad biológica del suelo.

ANOVA 2. Se consideraron dos campañas, 2005-2006 y 2006-2007. Las variables independientes consideradas fueron: campañas (2), cultivos (4), técnicas de siembra (3), repeticiones (3), réplicas de laboratorio (2). Este estudio se realizó sobre una sola variedad de cada cultivo.

ANOVA 3. Se consideraron tres campañas 2005-2008. Las variables independientes consideradas fueron: campañas (3), técnicas de siembra (3), repeticiones (3), réplicas de laboratorio (2). Este estudio se realizó sobre una sola variedad de un único cultivo.

ANOVA 4. Se consideró una sola campaña 2007-2008 en la que se realizan cuatro muestreos estacionales. Las variables independientes consideradas fueron: estación del año (4), técnicas de cultivo (3), repeticiones (3), réplicas de laboratorio (2). En los tres casos se realizó análisis de la varianza de las mencionadas variables independientes -y sus interacciones- para de las siguientes variables dependientes:

- Actividad ureasa del suelo
- Biomasa microbiana del suelo
- Respiración del suelo

3.3.3.3. Estudio de la microbiología del suelo.

ANOVA 5. Se consideró una sola campaña 2007-2008. Las variables independientes consideradas fueron: estación del año (4), técnicas de cultivo (3), repeticiones (3), réplicas de laboratorio (2).

Se realizó análisis de la varianza de las mencionadas variables independientes -y sus interacciones- acerca de las siguientes variables dependientes:

- Unidades formadoras de colonia (UFCs) de microorganismos proteolíticos.
- UFCs de microorganismos celulolíticos
- UFCs de microorganismos amilolíticos
- UFCs de microorganismos amonificantes
- UFCs de microorganismos formadores de nitrito (nitritantes)
- UFCs de microorganismos formadores de nitrato (nitratantes)
- UFCs de microorganismos aerobios totales

3.3.3.4. Estudio de arvenses.

ANOVAs 6 y 7. Se consideraron dos campañas 2006-07 y 2007-08. Las variables independientes consideradas fueron: campañas (2), cultivos (4), variedades (3), técnicas de cultivo (3), repeticiones (3), muestras (2).

Se realizaron análisis de la varianza para los muestreos de febrero y de junio de las mencionadas variables independientes -y sus interacciones- acerca de las siguientes variables dependientes:

- Densidad de arvenses
- Biomasa (peso seco) de arvenses

Análisis cualitativo. Se estudiaron las comunidades de especies arvenses sobre las muestras mencionadas en el estudio cuantitativo siguiendo la metodología que se describe en el apartado correspondiente.

3.3.3.5. Estudio de los rendimientos.

ANOVA 8. Se consideraron dos campañas 2006-07 y 2007-08. Las variables independientes consideradas fueron: campañas (2), cultivos (4), variedades (3), técnicas de cultivo (3), repeticiones (3), muestras (3).

Se realizó análisis de la varianza de las mencionadas variables independientes -y sus interacciones- para las siguientes variables dependientes:

- Biomasa vegetativa (paja)
- Densidad de espigas (cereales) o de plantas (leguminosas)
- Vainas por planta (leguminosas)
- Semillas por espiga (cereales) o por vaina (leguminosas)
- Peso de 1000 granos (cereales) o peso de 100 granos (leguminosas)
- Rendimientos
- Índice de cosecha

En todos los ANOVAs se utilizó el método de Tukey para comparar medias.

Se realizaron también análisis de regresión lineal simple entre las variables predictoras “biomasa de arvenses” y “densidad de arvenses” y las variables dependientes “rendimiento” y en algunos caso “producción de paja”.

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa SPSS v.16.

3.4. Cronograma de la agronomía de los cultivos.

Las parcelas se demarcaron en octubre de 2003. Las labores a lo largo de las cinco campañas fueron las siguientes:

- Octubre-noviembre: Dos pases de cultivador para enterrar los residuos de la cosecha anterior y eliminar los rebrotes de arvenses.
- En la campaña 2007-08, se repitió dos veces la técnica de “falsa siembra” (Zaragoza y Cirujeda, 2004), técnica utilizada en agricultura ecológica para el control de arvenses, consistente en preparar el lecho de siembra pero no sembrar, esperar unos 20 días el

rebrote de arvenses y pasar el cultivador, repitiendo el proceso dos o tres veces según lo exija la riqueza del banco de semillas y sembrando finalmente.

- Las siembras de la cebada, la avena y las vezas se realizaron en la primera semana de noviembre de 2006 y la segunda semana de diciembre de 2007. Los yeros fueron sembrados ambos años la tercera semana de enero por ser práctica habitual de la zona.
- Marzo: Primer aricado a las parcelas sembradas en líneas pareadas.
- Mayo: Segundo aricado.
- Julio: Muestreo de los rendimientos y cosecha.

3.5. Metodología de los análisis químicos del suelo.

Cada muestra es resultado de 5 catas de los primeros 20 cm de suelo. Se secó el suelo al aire y se tamizó con criba de 2 mm. Las fechas de muestreo fueron octubre-noviembre las cuatro primeras campañas y en el último año el muestreo se realizó en marzo.

Los análisis químicos se realizaron mediante los métodos oficiales de análisis de suelos (Vallejo 1994):

- Textura: Método de Bouyoucos (Métodos oficiales de análisis. Físicos, 2a)
- pH: 1/2.5 suelo/agua a 25°C. Potenciométrico (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 2)
- Conductividad: 1/5 suelo /agua a 25°C. Conductimétrico (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 6)
- Materia orgánica oxidable: Oxidación con dicromato y volumetría (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 25)
- Nitrógeno total: Kjeldahl (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 8)
- Relación C/N: Cálculo como cociente entre la materia orgánica oxidable y el nitrógeno total.
- Carbonatos totales: Calcímetro de Bernard (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 3a)
- Fósforo asimilable. Extracción con NaCO_3H a pH 8,5 y determinación con espectrofotometría UV/VIS (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 4b)
- Potasio: Extracción con AcNH_4 y determinación con espectrofotometría de llama (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 16b)
- Magnesio: Extracción con AcNH_4 y determinación con espectrofotometría absorción atómica (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 15)

- Calcio: Extracción con AcNH_4 y determinación con espectrofotometría de absorción atómica (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 14)
- Sodio: Extracción con AcNH_4 y determinación con espectrofotometría de absorción atómica (Métodos oficiales de análisis. Químicos, 16a)

3.6. Metodología del análisis de la actividad biológica y microbiología del suelo.

Cada muestra es resultado de 5 catas de los primeros 15 cm. Suelo secado al aire y tamizado con una criba de 5 mm. Se obtiene la humedad residual y se calcula la capacidad de campo.

3.6.1. Método de fumigación-incubación para la estimación de la biomasa microbiana del suelo según el descrito por Jenkinson y Powlson (1976b) mejorado por Jenkinson y Ladd (1981).

Fundamento. Se trata de medir el incremento en la tasa respiratoria tras la lisis del microbiota presente en una cantidad conocida de suelo mediante fumigación y la adición posterior de una cantidad conocida de suelo fresco. El suelo añadido tiene microorganismos vivos que digerirán los restos de los microorganismos muertos como consecuencia de la fumigación.

Este método asume, tras la correspondiente comprobación experimental, que:

- Los microorganismos fumigados quedan libres de agente tóxico que pueda interferir en la actividad de los organismos vivos que los usan como nutrientes.
- Existe una proporcionalidad lineal entre la biomasa microbiana presente en el suelo y el incremento de la tasa respiratoria de la biomasa microbiana reinoculada.

Procedimiento.

- Se tomaron 6 alícuotas de 50 g de cada muestra de suelo midiendo la humedad de la muestra original y aumentando proporcionalmente el peso de las alícuotas con el fin de los 50 gramos fueran de suelo seco. Tres muestras son para fumigar y tres para control.
- Se ajustó la humedad del suelo al 40-50 % de la capacidad de campo.

Capítulo 3. Materiales y métodos

- Las muestras para fumigar se introdujeron en un desecador en el que se había puesto un papel de filtro húmedo y un vaso de precipitados con Na_2CO_3 1 M.
- Se colocó en el desecador un vaso con 25 mL de cloroformo (Cl_3CH) libre de etanol con unas perlas de vidrio para facilitar la ebullición, aplicando vacío hasta que el cloroformo hirvió vigorosamente durante 2 min.
- Tras cerrar la llave del se incubó en estufa a 25 °C 24 h.
- Se prepararon simultáneamente las muestras no fumigadas con la diferencia de no colocar ClCH_3 en el desecador. (Figura 3.6.1)
- Tras la incubación se evacuó el ClCH_3 del desecador aplicando 6 veces vacío durante 2 minutos.
- Las muestras fumigadas se inocularon con 1 g de suelo no fumigado, procurando homogeneizar la mezcla sin que la excesiva abrasión pueda eliminar microorganismos vivos.
- Las muestras y los controles se transfirieron cada uno a un recipiente hermético con 10 mL de agua en el fondo y un vaso con 20 mL de NaOH 1 M para atrapar el CO_2 desprendido (Figura 4.6.2).



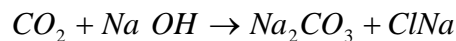
Figura 3.6.1. Desecador de vacío con las muestras de suelo en proceso de fumigación con cloroformo.

- Se incubaron los frascos cerrados a 25 °C durante 10 días. Se incluyen también blancos sin suelo en la incubación (Figura 4.6.2).

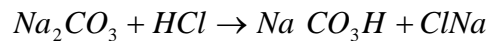


Figura 4.6.2. Suelos fumigados y reinoculados, introducidos en frascos herméticos junto con la solución se sosa que captará el CO₂ desprendido.

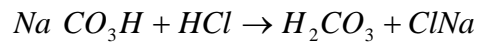
- Tras la incubación se realizó la valoración de la sosa restante en cada muestra, para lo cual se tomó una alícuota de 5 mL de la solución de NaOH utilizada como trampa para el CO₂. Se añadieron 20 mL de agua. Se llevó el pH de la solución a 10 por adición lenta de HCl 1 M y a 8,3 por adición lenta de HCl 0,1 M agitando con varilla magnética. Se valoró la disolución con HCl 0,1 M hasta pH 3,7. La reacción de captura que sucede durante el periodo de incubación es:



Antes de poder valorar el carbono hay que llevar la solución a pH 8,3 para que esté en forma de bicarbonato



La reacción de valoración es la siguiente



Cálculos. El carbono capturado se calcula a partir de la siguiente expresión

$$C CO_2 (\mu C g suelo^{-1}) = \frac{(S - B) * Pm * V}{G}$$

S = Volumen de HCl 0,1 M gastado en las muestras para llevar la solución de pH 8,3 a pH 3,7.

B = Volumen de HCl 0,1 M gastado en los blancos para llevar la solución de pH 8,3 a pH 3,7.

Capítulo 3. Materiales y métodos

M = Molaridad de la disolución de HCl.

Pm = peso molecular del C.

V = Factor relativo al volumen de la alícuota respecto del volumen total de la muestra, en este caso 20 mL/5mL: 4.

G = Factor relativo al peso en gramos de la muestra, en este caso 50.

El carbono atribuible a la biomasa bacteriana fumigada y respirada se halla restando el carbono encontrado en los blancos:

$$F_c = [C\ CO_2\ fumigado] - [C\ CO_2\ no\ fumigado]$$

Jenkinson y Ladd (1981) encontraron un factor empírico $K_c = 0,45$ que es la fracción de la biomasa microbiana que realmente es respirada en las condiciones experimentales citadas durante los diez días de incubación, por lo que la cifra definitiva de biomasa será:

$$C_{biomasa} = \frac{F_c}{K_c} = \frac{F_c}{0,45}$$

3.6.2. Método de la absorción estática para la medición de la respiración del suelo in situ según Anderson (1982) modificado por Alef (1995).

Fundamento. El microbiota del suelo respira. Se trata de medir la respiración del suelo in situ captando con NaOH el CO₂ desprendido del mismo por difusión en una cámara estanca.

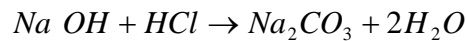
Materiales y aparatos. Cámaras de respiración y viales de vidrio para contener el álcali de diámetros y altura adecuados. Anderson (1982) indica que la cámara debe tener 25 cm de diámetro y 30 cm de altura, y los viales, 6,5 cm de diámetro y 7 cm de altura. En 2000 Conant et al usan con éxito cámaras de 15,5 cm de diámetro por 17 cm de altura, lo que reduce considerablemente el volumen, manteniendo los viales de 5,5 cm de diámetro. Las cámaras usadas en nuestro caso miden 25 x 30 cm.

Trípodes de metal para mantener los viales elevados 2 cm por encima del nivel del suelo y de esta forma no impedir la difusión del CO₂

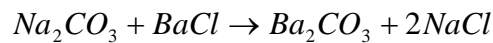
Procedimiento.

- Sobre el suelo limpio de vegetales se colocó un soporte y encima un vial con 20 ml de NaOH 1 M, cubriéndolo inmediatamente con la cámara y presionando o aporcando para que los bordes quedasen al menos 2 cm por debajo de la superficie. A continuación se cubrió con papel de aluminio para evitar el excesivo recalentamiento. En cada parcela elemental se situaron dos cámaras como las descritas.
- Tras 24 horas se recogió el frasco con álcali, se cerró herméticamente y se llevó al laboratorio.
- Controles: Cámaras idénticas pero con el frasco cerrado.
- Valoración: Se añadió a cada muestra, control o prueba BaCl₂ 3 M en exceso para que precipite todo el carbono secuestrado como BaCO₃ y se forme NaCl. Se añade fenolftaleína como indicador de viraje y se valora con HCl 1 M el NaOH restante, es decir, el que no había intervenido en la captura de CO₂.

La reacción de captura es:



Al añadir cloruro de bario se produce la siguiente reacción:



Cálculos. En este caso no se valora directamente el carbono presente sino el NaOH restante tras hacer precipitar el carbono como carbonato de bario.

$$C\ CO_2 (\mu g\ C\ m^{-2}\ suelo^{-1}) = \frac{(B - S) * M * G}{A}$$

B = Volumen medio (mL) de HCl empleado en la valoración de la disolución de NaOH control.

S = Volumen (mL) de HCl empleado en la valoración del NaOH de la disolución problema.

M = Molaridad del HCl utilizado.

G = Factor de conversión considerando que 1 mL de NaOH equivale a 6 mg de C-CO₂.

A = Superficie (m²) abarcada por el cilindro metálico instalado en el campo.

3.6.3. Método para la determinación de la actividad del enzima ureasa en el suelo según Tabatabai y Brenner (1972) modificado por Nannipieri *et al.*, (1978).

Fundamento. Uno de los bucles del ciclo del Nitrógeno en el suelo consiste en convertir la urea liberada como residuo por numerosos organismos en amonio, que pasa a disposición de las plantas. Numerosos microorganismos poseen esta habilidad, que es mediada por la acción catalítica del enzima ureasa. Este enzima puede además ser extruido de las células o simplemente pasar al exterior tras la lisis de éstas. Se trata pues de medir el amonio liberado tras incubar una cantidad determinada de suelo con una cantidad conocida de urea durante 90 min a 37 °C.

Material y reactivos. Utillaje habitual de laboratorio. Baño termostático de vaivén. Electrodo selectivo de amonio.

Procedimiento.

- Se pusieron alícuotas de 2 g de suelo tamizado y seco al aire en tres erlenmeyer de 100 mL, preparándose igualmente 3 erlenmeyer para los blancos.
- Se añadieron a las muestras 8 mL de tampón fosfato 0,1M pH7 y 2 mL de solución de urea 6,4%.
- En los matraces de los blancos se pusieron 8 mL de tampón fosfato 0,1 M pH7 y 2 mL de agua destilada.
- Las muestras de incubaron a 37 °C durante 90min en agitación a 60 ciclos por minuto (Figura 4.6.3).
- Se añadieron 10 mL de KCl 2 M, tapándose de nuevo y agitando a 30 min a 37 °C. De este modo se captó el amonio formado formándose NH_4Cl con lo cual se impide que el amonio se pierda como NH_3 a la atmósfera.
- Se midió la concentración de NH_4^+ mediante electrodo selectivo de amonio, para lo cual se añadieron 0,1ml de NaOH 10M que libera el NH_4^+ a partir del NH_4Cl .

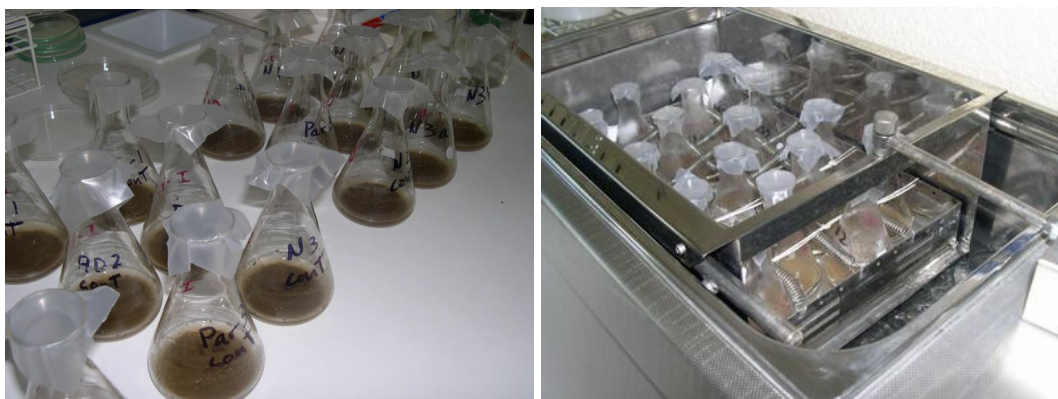


Figura 4.6.3. Muestras de suelo con solución tampón y urea (izda.) y en proceso de incubación en agitación.

Cálculos

$$\text{Actividad ureasa } (\mu\text{moles N NH}_4^+ \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}) = \frac{(S - B) * V * V'}{G * T}$$

S = Concentración en $\mu\text{moles N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$ del extracto correspondiente a la muestra de suelo.

B = Concentración en $\mu\text{moles N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$ del extracto correspondiente a los blancos.

V = Volumen del extracto usado (20 mL).

V' = Factor de dilución (si hiciera falta) para medir con el electrodo selectivo.

G = Suelo usado en la incubación (2 g).

T = Tiempo de incubación (1,5 h).

3.6.4. Metodologías para la determinación cuantitativa de grupos fisiológicos de microorganismos del suelo.

La metodología seguida es la descrita por Pochon y Tardieux, (1956) con alguna modificación. Esta metodología ha sido utilizada en ensayos relativamente recientes (Acero, 1997; Pozuelo, 1991) y es adecuada a los fines que se persigue. El método consiste, de forma general, en la inoculación con diluciones decimales de solución de suelo de baterías de tubos de ensayo cargados con medios específicos (Figura 3.6.4), su posterior incubación y recuento de los positivos mediante un test con un reactivo característico. Los resultados numéricos obtenidos se procesaron mediante la técnica estadística del Número Mas Probable.

Las muestras son resultado de 5 catas en los primeros 10 cm de suelo.



Figura 3.6.4. Conjunto de gradillas correspondientes a las 6 pruebas de una réplica, listas para incubar.

3.6.4.1. Material y reactivos.

Como material se precisó el utillaje normal de laboratorio, y como reactivos especiales se requieren los siguientes:

- **Amonificantes:** Reactivo de Nessler. (100 g de HgI_2 y 70 g de KI en una pequeña cantidad de agua. Esta mezcla se añade posteriormente, con agitación, a una solución fría de 160 g de NaOH en 500 mL de agua).
- **Nitrificantes nitrosos:** Reactivo de la difenilamina sulfúrica (1 g difenilamina, 100 mL H_2SO_4 , 20 mL agua destilada).
- **Nitrificantes nítricos:** Reactivo de la difenilamina sulfúrica.
- **Amilolíticos:** Reactivo yodo-yodurado (Lugol).

El resto de reactivos de cada medio se especifican más adelante con la descripción de cada técnica.

3.6.4.2. Preparación de extracto de tierra.

Se requiere para la preparación de los medios de cultivo, ya que muchos microorganismos del suelo son exigentes y requieren para crecer la presencia de factores de crecimiento o de nutrientes específicos presentes en la solución del suelo.

- Se pesaron 500 g de un suelo rico, con abundante materia orgánica en descomposición y que previamente fue dejado dos días en la estufa a 80 °C para deshidratarlo.
- Se introdujo esta muestra de suelo en un matraz de 5 litros y se le añadieron 1500 cm³ de agua del grifo, se agitó enérgicamente y se esterilizó a 121 °C, 30 minutos.
- Tras decantar durante dos horas se procedió a filtrar la suspensión a través de papel de filtro con la ayuda de una bomba de vacío. Se envasó en frascos y de nuevo se esterilizó a 121 °C, 30 minutos.

3.6.4.3. Preparación de las diluciones para inocular.

Se realizaron diluciones decimales de de cada muestra suelo a analizar, desde 10^{-1} hasta 10^{-10} .

3.6.4.4. Inoculación de las diluciones.

Se preparó un medio de cultivo específico de cada grupo fisiológico. Se dosificó en la batería correspondiente de tubos de ensayo, inoculándose tres tubos con cada dilución de suelo.

3.6.4.5. Descripción de los métodos de análisis.

Aerobios viables.

- Medio: 0,5 g de glucosa, 0,25 g de extracto de malta , 0,25 g de K_2HPO_4 , 7,5 g de agar.
- Se repartieron alícuotas de 20 mL de medio en los 18 tubos de ensayo convenientemente rotulados.
- Se esterilizó a 121 °C durante 15 minutos.
- Cuando la temperatura bajó a 50 °C se inoculó y se vertió en placa.
- Se incubaron en estufa durante 5 días a 28 °C.
- A los 5 días se cuentan las UFCs (Unidades Formadoras de Colonias), se hace la media de cada dilución y se expresa el número de microorganismos viables en UFCs g suelo⁻¹. La observación se realizó a simple vista con luz transversal. (Figura 4.6.5)



Figura 4.6.5. Placa de la dilución 10^{-5} mostrando las colonias de aerobios.

Microorganismos proteolíticos.

- Medio: 50 ml de solución de Winogradsky (5 g de K_2HPO_4 , 2,5 g de $MgSO_4$, 2,5 g de NaCl, 0,05 g de $Fe(SO_4)_3$, 0,05 g de $MnSO_4$ en un litro de agua), 30 g de gelatina, 1 mL de solución de oligoelementos (0,05 g de molibdato de amonio, 0,5 g de borato sódico, 1

Capítulo 3. Materiales y métodos

gota de solución férrica, 0,05 g de nitrato de cobalto, 0,05 g de sulfato de cadmio, 0,05 g de sulfato de cobre, 0,05 g de sulfato de zinc, 0,05 g de sulfato de Mn en un litro de agua), todo ello en un litro de agua.

- Se calentó agitando hasta fundir la gelatina.
- Se distribuyó el medio en tres gradillas de 24 tubos a razón de 9 mL por tubo.
- Se esterilizó 110 °C, 20 minutos.
- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10^{-2} a 10^{-9} añadiendo 1 ml de cada dilución a tres tubos.
- Se incubaron a 28 °C durante 12 días al cabo de los cuales se introdujeron los tubos 1 hora en el frigorífico.
- Test: Los tubos positivos presentaron la gelatina líquida.
- Se determina el número más probable (NMP) consultando las tablas de Mc Crady . El número de proteolíticos sería:

$$NMP * dilución = n^{\circ} \text{ bacterias proteolíticas g suelo seco}^{-1}$$

Microorganismos amonificantes.

- Medio: 50 mL de solución de Winogradsky, 0,2 g de asparragina, 10 mL de solución de oligoelementos en 1 L de agua.
- Se distribuyeron 9ml en tres gradillas de 24 tubos.
- Se esterilizó a 110 °C durante 20 minutos.
- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10^{-2} a 10^{-9} añadiendo 1 mL de cada dilución a tres tubos.
- Se Incubó a 28 °C durante 12 días.
- Test: Se añadió a cada tubo una gota de reactivo de Nessler. Los tubos positivos presentaron un precipitado naranja y los negativos amarillo.
- Se determinó el número de UFCs de bacterias amonificantes mediante el cálculo del NMP.

Microorganismos nitritantes.

- Medio: 25 ml de solución salina de Winogradsky, 0,25 g de sulfato amónico, 0,5 g de CO_3Ca en 1 L de agua.
- Se distribuyó el medio en 3 gradillas de 6x3 tubos a razón de 9 mL por tubo.
- Se esterilizó a 110 °C durante 20 minutos.

- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10^{-1} a 10^{-6} añadiendo 1 mL de cada dilución a tres tubos.
- Se incubó a 28 °C durante 12 días.
- Test: Se toman 0,2 mL de cada tubo y se le incorporan 10 gotas de ácido sulfúrico concentrado y otras 10 del reactivo de la difenilamina sulfúrica (1 g difenilamina, 100 mL H_2SO_4 , 20 mL agua destilada). La presencia de nitritos viene dada por una intensa coloración azul.
- Se determina el número de UFC nitritantes mediante el cálculo del NMP.

Microorganismos nitratantes.

- Medio: 25 ml de solución salina de Winogradsky, 0,5 g de $NaNO_2$, 0,5 g de CO_3Ca , Enrasar con agua destilada hasta 500 ml.
- Se distribuyó el medio en 3 gradillas de 6x3 tubos a razón de 9ml por tubo.
- Se esterilizó a 110 °C durante 20 minutos.
- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10^{-1} a 10^{-6} añadiendo 1 ml de cada dilución a tres tubos
- Test: Se toman 0,2 ml de cada tubo y se le incorporaron 2 mg de urea, 10 gotas de ácido sulfúrico concentrado y 10 gotas del reactivo de la difenilamina sulfúrica (1 g difenilamina, 100 ml H_2SO_4 , 20 ml agua destilada). Los tubos positivos (con presencia de nitratos) presentaron coloración azul.
- Se determina el número de UFC nitritantes mediante el cálculo del NMP.

Microorganismos amilolíticos.

- Medio: 50 ml de solución salina de Winogradsky, 10 ml de extracto de tierra, 5 g de almidón, 1 g de nitrato amónico, 1 ml de solución de oligoelementos, en 1 L de agua.
- Se distribuyó el medio en 3 gradillas de 8x3 tubos a razón de 9 ml por tubo
- Se esterilizó a 110 °C durante 20 minutos.
- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10^{-3} a 10^{-10} añadiendo 1 ml de cada dilución a tres tubos.
- Se incubó a 28 °C durante 12 días.
- Test: Se toma 1 ml de cada tubo y se le añadió a esta muestra 1 gota del reactivo yodo-yodurado (Lugol). Los tubos positivos toman el color del reactivo (ligeramente amarillo) y los negativos un color violeta.
- Se determinó el número de bacterias amilolíticas mediante el cálculo del NMP.

Microorganismos celulolíticos.

- Medio: 25 ml de solución salina de Winogradsky, 10 ml de extracto de tierra, 0,5 g de nitrato amónico, 1,5 g de CaCO₃.
- Se distribuyó el medio en 3 gradillas de 4x3 tubos a razón de 9ml por tubo.
- Se colocó una tira de papel de filtro en el interior de cada tubo.
- Se esterilizó a 110 °C durante 20 minutos.
- Los tubos con medio se inocularon en cámara estéril con las diluciones de suelo desde 10⁻¹ a 10⁻⁴ añadiendo 1 ml de cada dilución a tres tubos.
- Se incubó a 28 °C durante 12 días.
- Test: Los tubos positivos presentan envejecimiento, manchas y destrucción del papel.
- Se determinó el número de bacterias celulolíticas mediante el cálculo del NMP.

3.7. Metodología del análisis de arvenses.

Se realizaron dos muestreos cada campaña, uno en febrero y otro en mayo-junio. Se tomaron dos muestras de 0,25 m² por parcela elemental.

Para el análisis cualitativo de arvenses se empleó el índice denominado Valor Relativo de Arvenses (VRA) referido a cada especie presente y calculado de la siguiente forma:

$$VRA (\%) = \frac{Biomasa\ relativa (\%) + Frecuencia\ relativa (\%) + Abundancia\ relativa (\%)}{3}$$

donde

$$Biomasa\ relativa (\%) = \frac{Biomasa\ de\ la\ especie\ i}{\sum Biomasa\ de\ todas\ las\ especies} \times 100$$

$$Frecuencia\ relativa (\%) = \frac{Frecuencia\ absoluta\ de\ la\ especie\ i}{\sum Frecuencia\ absoluta\ de\ todas\ las\ especies} \times 100$$

$$Abundancia\ relativa (\%) = \frac{N^\circ\ de\ individuos\ de\ la\ especie\ i}{\sum N^\circ\ de\ individuos\ de\ todas\ las\ especies} \times 100$$

Para el análisis cuantitativo de Biomasa se utilizaron los siguientes parámetros:

Biomasa total de arvenses por metro cuadrado, resultado de la suma de las biomásas de todas las especies presentes en una parcela elemental.

Densidad total de arvenses por metro cuadrado, resultado de la suma de las densidades de todas las especies presentes en una parcela elemental.

3.8. Metodología para la determinación del rendimiento del cultivo y de sus componentes.

El análisis de la cosecha se realizó mediante 3 muestras de 0,25 m² en cada microparcela. Los índices obtenidos fueron:

Cereales:

- N° de espigas por muestra. Este recuento se realizó en el campo, ya que después se unían las tres muestras en un solo sobre.
- Peso grano. Tras trillar y separar el grano de las tres muestras de una microparcela, pesarlo.
- Peso de mil granos. Se cuentan mil granos por muestra y se pesan
- Producción. Peso del grano transformado a kg ha⁻¹
- Peso paja fresca.
- Índice de cosecha. Peso grano/peso mies.
- N° de granos en 20 espigas o panículas.

Leguminosas:

- Peso grano. Tras trillar y separar el grano de las tres muestras de una microparcela, pesarlo.
- Peso de cien granos. Se cuentan cien granos por muestra y se pesan.
- Producción. Peso del grano transformad a kg ha⁻¹.
- Peso paja fresca.
- Índice de cosecha. Peso grano/peso mies.
- N° de vainas por planta (sobre cinco plantas).

4. Resultados y discusión.

4.1. Condiciones meteorológicas durante el desarrollo de los ensayos.

Los datos meteorológicos de los años 2004 a 2008 han sido obtenidos en la estación automatizada de la finca. Los de 2003-2004 y los valores medios de 25 años proceden de la estación meteorológica de Villanubla, a 15 km.

Las condiciones meteorológicas durante el periodo de los ensayos han sido fiel reflejo del clima de la zona y explican por si solas por qué hay que considerarlo como el factor limitante fundamental del desarrollo de los cultivos. El aspecto más destacable es la imprevisibilidad, que se refleja en el amplio intervalo de variación de los valores termopluviométricos en torno a las medias y la variación interanual de las oscilaciones, tanto así que de entre los cinco años, no podemos considerar como valor modal ni siquiera dos meses seguidos de uno de ellos (Figuras 4.1.1 y 4.1.2).

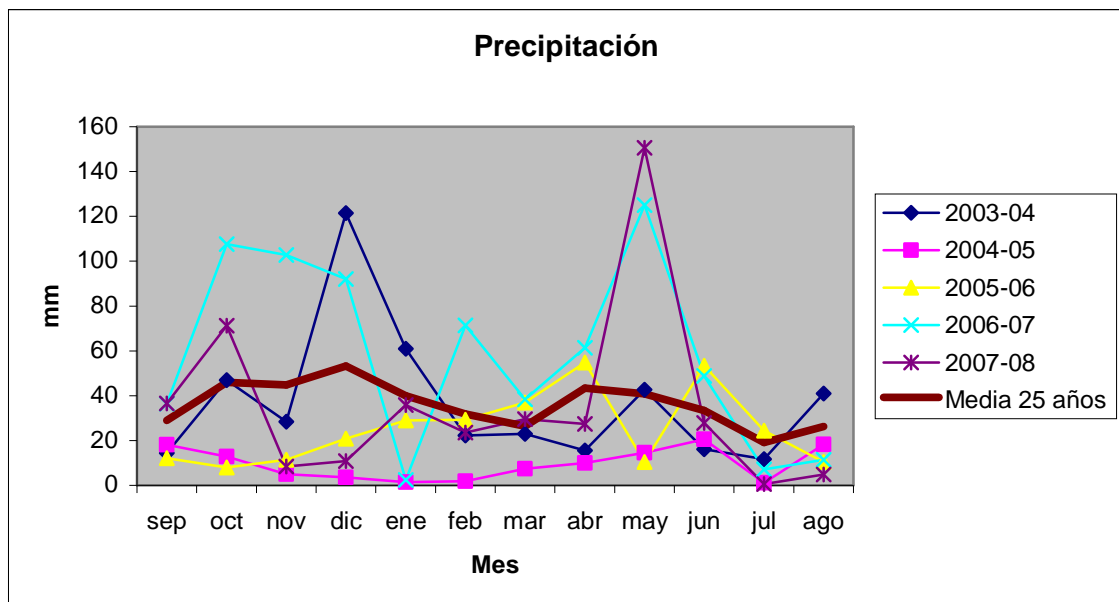


Figura 4.1.1. Pluviometría mensual durante el ensayo y valores medios de 20 años

- La campaña 2003-04 presentó el final del otoño y el invierno húmedos y primavera relativamente seca excepto mayo. La precipitación total fue de 383 mm.
- La campaña 2004-05 fue de sequía extrema a lo largo de todo el ciclo, con 114 mm de precipitación total, invierno frío y primavera cálida.
- La campaña 2005-06 fue muy seca en otoño, seca en invierno, medianamente húmeda en marzo y abril y con un periodo muy seco y cálido entre el 5 de mayo y el 14 de junio, con valores de hasta 14% de humedad relativa que se tradujeron en valores de evapotranspiración de 7 y 8 mm/día (Figura 4.1.3). La precipitación total fue de 301 mm.

Capítulo 4. Resultados y discusión

- La campaña 2006-07 se presentó muy húmeda excepto en enero, produciéndose en otoño algunos problemas para la siembra. Mayo muy húmedo y templado, y junio humedo y frío. La precipitación total fue de 704 mm.
- En la campaña 2007-08 la primera parte del otoño fue húmeda, con un periodo de noviembre a abril seco a muy seco, prometía ser un año difícil, pero un mayo extraordinariamente húmedo y fresco y un junio fresco cambiaron la situación para bien. La precipitación total fue de 427 mm

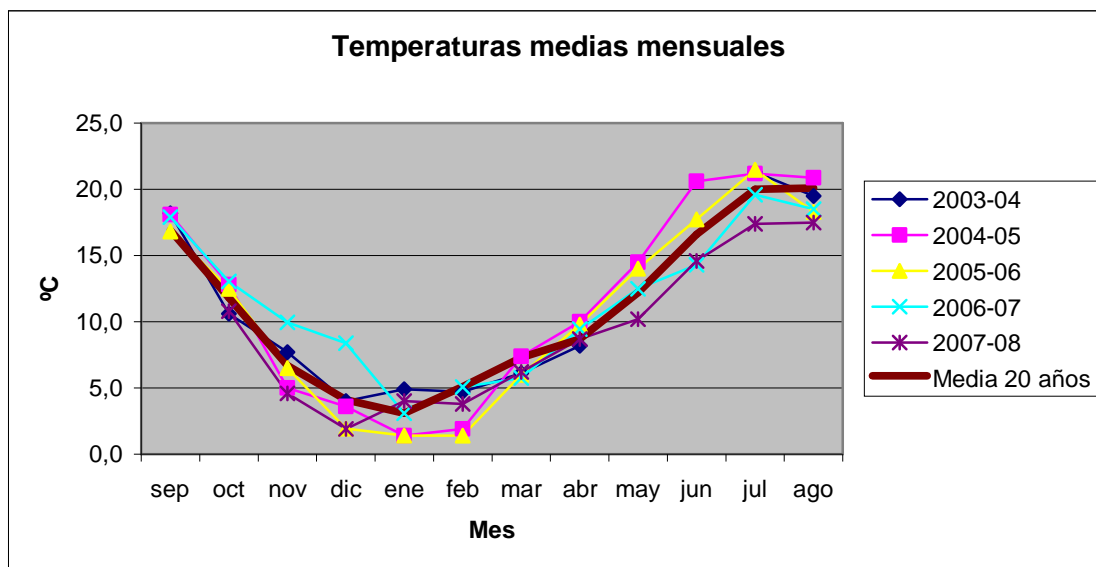


Figura 4.1.2. Temperaturas medias mensuales durante los años del ensayo y valores medios de 20 años

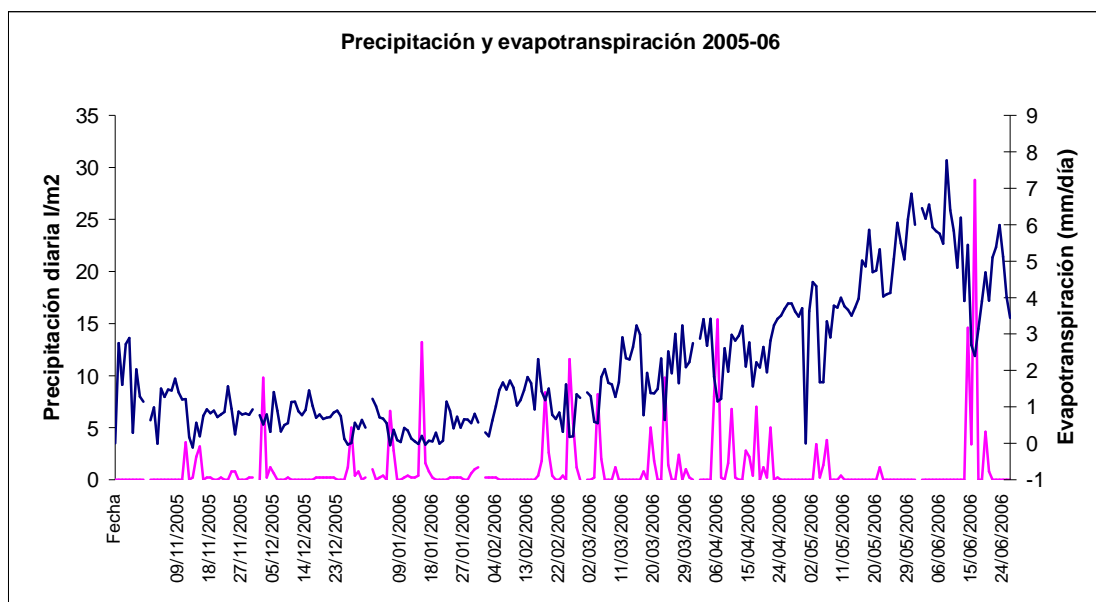


Figura 4.1.3. Precipitación (rosa) y evapotranspiración (azul) en la campaña 2005-2006. Obsérvese el periodo seco y de fuerte evapotranspiración en mayo-junio.

4.2. Evolución de componentes químicos de la fertilidad del suelo en 5 años de agricultura ecológica.

La tabla 4.2.1 corresponde a los resultados del análisis de la varianza que permite comprobar si las variables independientes *transcurso del tiempo (año)*, *técnica de siembra* y *cultivo*, afectan a los parámetros químicos edafológicos. La tabla 4.2.2 corresponde a los valores medios de dichos parámetros en base a la evolución temporal y la técnica de siembra y su agrupación según el test de Tukey. La tabla 4.2.3 muestra los valores medios de los parámetros químicos del suelo en base al cultivo previo y los agrupa según el mismo test de Tukey.

Efecto de las técnicas de siembra y el transcurso del tiempo sobre los parámetros químicos del suelo. La hipótesis de trabajo es que las distintas técnicas de siembra pueden suponer una presión diferente sobre las condiciones del suelo: Diferentes ritmos de extracción de nutrientes, distinta cantidad de materia orgánica revertida, distintos periodos de exposición a la intemperie y por tanto diferentes ritmos de mineralización. Todo esto puede tener como consecuencia acumulativa diferentes concentraciones de nutrientes, diferentes valores de pH, etc.

Efecto de los cultivos sobre los parámetros químicos del suelo. Las mediciones realizadas permiten comprobar si los distintos cultivos de la rotación influyen de manera diferente sobre los parámetros edafológicos. Las tomas de muestras para los análisis se realizaron al principio del año agrícola, en noviembre, excepto en la última campaña que se realizó a final del invierno (marzo de 2008), por lo que los análisis químicos reflejan los efectos de los restos de los cultivos de la campaña precedente sobre el suelo, mientras que el valor del primer año constituye una referencia previa.

Los datos de la tabla 4.2.3 son los valores medios de cuatro campañas más los valores iniciales, con un total de treinta y seis valores por cultivo que, por tanto, amortiguan distintas situaciones climáticas, distintos lugares físicos de los bloques de cultivo, y distintas técnicas de siembra, por lo que las posibles diferencias han de ser tenidas en cuenta, al margen de que se encuentren elementos suficientes para explicarlas.

Existen antecedentes relativamente abundantes de estudios de la evolución de los parámetros químicos del suelo en procesos de reciente conversión de agricultura convencional a ecológica, pero en todos los casos han existido fuertes abonados

Capítulo 4. Resultados y discusión

orgánicos anuales en forma de compost (Zhang *et al.*, 2009; Herencia *et al.*, 2008; Clark *et al.*, 1998; Velmourougane *et al.*, 2007). En el presente caso, como ya se ha expuesto, no se ha añadido abono alguno en las cinco campañas de que consta el estudio. Este hecho hace difícil contrastar resultados a la vez que les confiere un carácter pionero.

A continuación se repasan los diferentes parámetros químicos desde las tres perspectivas que aparecen en las tablas: evolución temporal, técnica de siembra y cultivo.

4.2.1. pH.

No hay diferencias significativas entre los valores medios de pH de las diferentes técnicas de cultivo.

Los valores interanuales varían en un intervalo de dos décimas de punto (Tabla 4.2.1), que son difícilmente atribuibles a factores climáticos, al menos a la precipitación. En periodos lluviosos el lavado de cationes puede provocar la bajada del pH en la solución, aunque en suelos calizos como los de este estudio, puede producirse basificación por el efecto alcalinizante del bicarbonato formado al contacto del carbonato cálcico con el anhídrido carbónico disuelto en el agua de lluvia. Sin embargo no se observa un paralelismo coherente entre periodos lluviosos y valores de pH obtenidos (Tabla 4.2.2 y Figura 4.1.1) por lo que el factor más probable asociado a esas variaciones puede ser la mayor o menor presencia de plantas vivas en el momento de tomar la muestra, ya que la respiración de sus raíces y la emisión de protones para equilibrar cargas en los procesos de absorción de cationes tienen un efecto acidificador del suelo (Hinsinger 1998).

También aparecen diferencias significativas de hasta 0,15 puntos entre los pHs de suelos por efecto del cultivo (Tabla 4.2.3). Los restos de yeros y sobre todo de veza han acidificado más el suelo que los de avena y cebada. Las leguminosas acidifican el suelo para contrarrestar el desequilibrio creado en el interior de la raíz en el proceso de fijación de nitrógeno atmosférico (Bolan *et al.*, 2006) de forma similar a lo que ocurre con la absorción de amonio por otras plantas o las propias leguminosas si no crean nódulos con *Rhizobium*, es decir, que el amonio absorbido o sintetizado desplaza el equilibrio catión-anión en el citoplasma de las células del parénquima de la raíz y la planta lo restaura extruyendo protones. La mayor intensidad de la acidificación

edáfica provocada por las leguminosas puede ser atribuida a su mayor actividad asimiladora de nitrógeno respecto de los cereales, provocada por el depósito virtualmente ilimitado de nitrógeno molecular del que disponen, actividad que queda reflejada en una mayor concentración de este nutriente en sus tejidos, y por tanto en una inferior relación C/N: Los valores de C/N de una alfalfa henificada se sitúan en torno a 20 y los de cereales secos en torno a 50 (Labrador, 1997). Sería interesante comprobar si la siembra continuada de estas leguminosas acidifica el suelo de forma acumulativa en consonancia con las evidencias de que así lo hace el altramuza (*Lupinus albus*) en rotaciones continuadas con trigo durante 20 años en suelos australianos (Nelson y Delane 1991 en Mera y Ruanet 2003) o los guisantes cultivados 16 años seguidos en suelos indios (Ganeshamurthy, 2009), lo cual en suelos ácidos sería un aspecto negativo a contrarrestar, pero toda una ventaja en suelos básicos en cuanto a la absorción del fósforo por los cultivos.

4.2.2. Conductividad eléctrica (CE).

La CE no presenta variaciones entre técnicas de siembra, aunque si interanuales (Tabla 4.2.1) y entre diferentes cultivos (Tabla 4.2.2). Se han realizado regresiones entre la conductividad y los contenidos medios de los distintos cationes, y no se han encontrado buenas correlaciones con ninguno de ellos excepto una correlación negativa con el contenido de sodio ($R^2:0,79$), relativamente sorprendente, explicable por una interacción compleja con otros iones y con el pH en el complejo de cambio sobre la base de que la conductancia equivalente del sodio ($50,1 \text{ mScm}^{-1}$ por meq L^{-1}) es la menor de los cationes que entran en juego (i.e.; H^+ : 349 , K^+ :73,5 , NH_4^+ : 73,5 mScm^{-1} por meq L^{-1}) (Lide, 2007).

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.2.1. Análisis de la varianza de las principales variables químicas del suelo. El término *cultivo* se refiere al de la campaña anterior a cada muestreo. Nivel de significación *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001.

Variable	Año		Cultivo		Técnica		Año*Cultivo		Año*Técnica		Cultivo*Técnica		Año*Cultivo*Técnica	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
pH	139,594	<0,001***	43,254	<0,001***	2,532	0,084	13,806	<0,001***	1,022	0,414	2,66	0,018	1,988	0,015*
Cond.	36,384	<0,001***	12,537	<0,001***	1,621	0,202	17,666	<0,001***	0,865	0,523	1,092	0,371	0,558	0,923
M.O.	22,437	<0,001***	23,68	<0,001***	7,047	0,001***	10,093	<0,001***	1,792	0,106	0,925	0,479	0,597	0,896
N	5,352	0,002**	3,521	0,017*	2,788	0,065	10,792	<0,001***	1,14	0,343	2,337	0,036*	0,565	0,918
C/N	27,088	<0,001***	3,21	0,025*	2,787	0,065	5,345	<0,001***	1,516	0,178	2,166	0,05*	0,42	0,981
Car.tot.	87,197	<0,001***	14,237	<0,001***	4,771	0,01**	9,039	<0,001***	2,151	0,052	0,427	0,86	1,14	0,322
P	43,379	<0,001***	10,23	<0,001***	0,349	0,706	7,77	<0,001***	2,682	0,017*	4,894	<0,001***	3,483	<0,001***
K	23,185	<0,001***	17,167	<0,001***	3,973	0,021*	5,608	<0,001***	2,023	0,067	0,696	0,653	1,019	0,443
Mg	12,932	<0,001***	6,942	<0,001***	4,524	0,013*	6,891	<0,001***	1,789	0,106	1,166	0,329	1,563	0,08
Ca	38,87	<0,001***	0,861	0,463	0,069	0,933	2,719	0,006**	0,161	0,987	0,265	0,952	0,255	0,999
Na	43,792	<0,001***	46,578	<0,001***	6,289	0,002**	16,604	<0,001***	1,584	0,157	1,506	0,181	1,341	0,174

Tabla 4.2.2. Valores medios de los parámetros químicos del suelo en las parcelas sembradas con distinta técnica en las sucesivas campañas. En horizontal, para cada parámetro, los valores acompañados de letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticamente significativas entre campañas. En vertical, para cada parámetro, las cifras acompañadas de letras minúsculas diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas entre técnicas de cultivo (test de Tukey). Nivel de significación de las diferencias entre las medias de los diferentes años o técnicas: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$, ns:no significativo

Parámetro	Técnica	Campaña					Medias
		2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	
pH año*** téc.*	Alta densidad	8,30	8,40	8,28	8,34	8,52	8,369a
	Líneas pareadas	8,31	8,42	8,27	8,37	8,52	8,379a
	Normal	8,27	8,42	8,23	8,33	8,51	8,356a
	Medias	8,294B	8,417D	8,261A	8,350C	8,518E	
Conductividad eléctrica (ds/m) año*** tec. ns	Alta densidad	0,16	0,13	0,14	0,15	0,12	0,1406a
	Líneas pareadas	0,16	0,13	0,13	0,15	0,13	0,1408 a
	Normal	0,16	0,14	0,14	0,16	0,13	0,1441 a
	Medias	0,158D	0,134B	0,137B	0,152C	0,127A	
Materia Orgánica (%p/p) año*** téc.**	Alta densidad	1,13	1,32	1,13	1,20	1,21	1,203a
	Líneas pareadas	1,14	1,33	1,10	1,23	1,17	1,194a
	Normal	1,17	1,34	1,13	1,35	1,31	1,265b
	Medias	1,148A	1,332C	1,130A	1,258 B	1,234B	
N (%p/p) año*** tec.*	Alta densidad	0,0851	0,0878	0,0966	0,0897	0,0833	0,088a
	Líneas pareadas	0,0848	0,0879	0,0898	0,0932	0,0870	0,088a
	Normal	0,0865	0,0893	0,0948	0,0969	0,0895	0,091a
	Medias	0,085 A	0,088AB	0,093 C	0,093BC	0,087A	
C/N año*** tec. ns	Alta densidad	7,77	7,5	6,81	7,78	8,46	7,68a
	Líneas pareadas	7,74	7,46	7,07	7,72	7,78	7,58a
	Normal	7,92	7,65	6,94	8,11	8,63	7,85a
	Medias	7,81B	7,53B	6,98 A	7,90BC	8,29C	

Capítulo 4. Resultados y discusión

Parámetro	Técnica	Campaña					Medias
		2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	
Carbonatos totales (%p/p) año*** tec.**	Alta densidad	3,83	4,45	3,27	3,65	3,79	4,36a
	Líneas pareadas	4,12	4,53	2,75	5,28	5,32	4,98b
	Normal	3,95	4,09	3,10	4,02	4,29	4,48ab
	Medias	3,96B	4,35B	2,94A	4,30B	4,47B	
P (mg/kg suelo) año*** tec. ns	Alta densidad	17,5	16,8	16,91	19,58	13,08	16,72a
	Líneas pareadas	16,7	18,08	17,92	19,66	10,81	16,64a
	Normal	17,2	17,75	15,36	18,00	13,32	16,36a
	Medias	17,17B	17,50BC	16,71B	19,08C	12,41A	
K (mg/kg suelo) año*** tec.*	Alta densidad	366,67	444,08	434,36	339,90	347,42	386,55a
	Líneas pareadas	355,42	446,16	391,33	401,00	341,25	387,07a
	Normal	365,83	486,58	420,18	403,41	378,71	410,95b
	Medias	362,64A	458,94C	415,42B	381,44A	355,79A	
Mg (mg/kg suelo) año*** tec.*	Alta densidad	77,08	93,75	92,27	103,33	83,75	90,17a
	Líneas pareadas	79,58	96,41	96,67	113,33	87,75	94,75a
	Normal	80	107,83	110,36	104,17	87,25	97,73a
	Medias	78,89A	99,33B	100,00B	106,94B	86,25A	
Ca (mg/kg suelo) año*** tec. ns	Alta densidad	3583	4303	4903	5550	5127	4693a
	Líneas pareadas	3595	4365	4772	5611	5095	4681a
	Normal	3279	4431	5028	5565	5130	4697a
	Medias	3486A	4367B	4897C	5585D	5118C	
Na (mg/kg suelo) año*** tec.**	Alta densidad	5,42	7,00	5,82	5,22	7,92	6,10a
	Líneas pareadas	5,00	6,58	5,67	5,22	8,71	6,07a
	Normal	5,42	8,08	7,27	4,78	10,54	7,06b
	Medias	5,28AB	7,22C	6,18BC	4,33A	9,05D	

Tabla 4.2.3. Valores medios de los parámetros químicos del suelo obtenidos en los análisis de suelos teniendo en cuenta el cultivo previo (los análisis se realizaron en otoño). Los valores acompañados de letras distintas presentan diferencias estadísticamente significativas entre campañas según el test de Tukey. Nivel de significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001.

Parámetro	Cultivo				
	Inicial	Tras avena	Tras cebada	Tras veza	Tras yeros
pH ***	8,29 a	8,45 c	8,41 c	8,30 a	8,38 b
Cond. eléctrica (dS/m) ***	0,158 d	0,140 bc	0,131 a	0,145 c	0,133 ab
Materia orgánica (%P/P) ***	1,148 a	1,367 b	1,198 a	1,205 a	1,175 a
N (%P/P) *	0,085 a	0,093 b	0,088 ab	0,092 b	0,097 c
C/N *	7,81ab	7,93 b	7,67 ab	7,49 a	7,60 ab
Carbonatos Totales (%P/P) ***	3,96 a	5,84 b	4,19 a	4,68 a	4,34 a
P (mg/kg suelo) ***	17,17 b	17,56 b	16,36 b	17,28 b	14,49 a
K (mg/kg suelo) ***	362,64 a	460,26 b	377,36 a	383,94 a	390,03 a
Mg (mg/kg suelo) ***	78,89 a	90,94 b	106,47 c	98,89 bc	96,22 bc
Ca (mg/kg suelo) **	3486,21 a	5001,94 b	4899,79 b	5086,38 b	4979,72 b
Na (mg/kg suelo) ***	5,28 a	5,46 a	4,60 a	7,58 b	9,15 c

4.2.3. Materia orgánica

La materia orgánica presenta diferencias significativas entre las distintas técnicas, siendo la densidad normal de siembra la que parece acumular más materia orgánica en el suelo (Tablas 4.2.1 y 4.2.2, Figura 4.2.1).

Es fácil justificar que la siembra en líneas pareadas acumule menos materia orgánica, al menos en los años secos cuando el cultivo no cubre los anchos pasillos no sembrados que disminuyen la biomasa disponible a la vez que se acelera el proceso de mineralización por el mayor número de labores (aricado). En este mismo estudio se puede comprobar que el peso de la paja y grano obtenidos en líneas pareadas en avena veza y yeros es significativamente inferior en el promedio interanual (Tablas 4.5.1 y 4.5.2; 4.5.5. y 4.5.6; 4.5.7 y 4.5.8), aunque no lo sean en algunos años concretos.

Podría ser más difícil justificar una menor acumulación de materia orgánica en las parcelas repetidamente sembradas en alta densidad, sin embargo en nuestro caso los resultados parecen también indicar que un número mayor de plantas por unidad de

Capítulo 4. Resultados y discusión

superficie no tiene porque suponer una mayor cantidad de biomasa. En las mismas tablas mencionadas, se puede comprobar que los mayores valores del peso total de paja y grano corresponden a la densidad normal y la alta densidad de siembra. No se ha encontrado en la bibliografía ningún ensayo en el que se compare este parámetro en estas mismas condiciones por lo que no es posible contrastarlo.

En cuanto a la secuencia temporal interanual, los valores permanecen esencialmente constantes. Sin embargo existen diferencias significativas (Tabla 4.2.1) que ponen de manifiesto el contraste de valores entre el otoño de 2004 (máximos) y el otoño de 2005 (mínimos), lo que refleja la muy baja productividad de la campaña 2004-2005 debido a la severa sequía que se produjo, así como el efecto estimulador de la mineralización provocado por la alternancia humedad-sequedad (Wild 1992), en este caso en un intervalo anual.

Por último, se constatan diferencias significativas entre los valores de materia orgánica edáfica por efecto del cultivo (Tabla 4.2.1), siendo la avena la que rinde mayor cantidad de restos orgánicos, no habiendo diferencia entre el resto de cultivos.

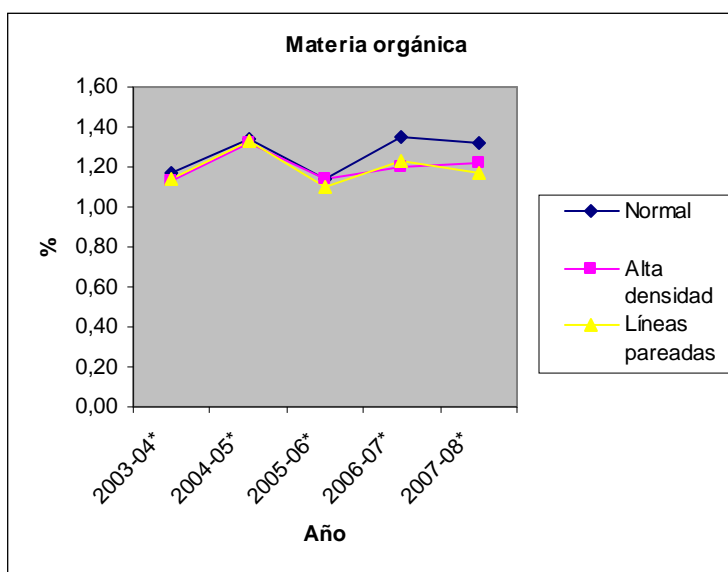


Figura 4.2.1 . Valores medios de materia orgánica edáfica de las parcelas sembradas con distintas técnicas. Cada punto es el valor medio de 36 análisis. * : diferencias significativas entre técnicas de cultivo en cada campaña.

4.2.4. Nitrógeno.

El nitrógeno total se encuentra desde el comienzo en niveles considerados habitualmente como bajos. A lo largo de los cinco años se mantienen básicamente

estables, con un ligero repunte estadísticamente significativo (Tabla 4.2.1) tras los años de bajas producciones por la sequía (Tabla 4.2.2.) debido con toda probabilidad a las escasas extracciones realizadas por los cultivos. La caída del último valor puede atribuirse a las fuertes extracciones del año anterior así como a la fecha más tardía del muestreo (marzo de 2008) en la que los cultivos en desarrollo habrían ya extraído una fracción del nitrógeno necesario para completar el ciclo. Dado que no se ha realizado fertilización a lo largo de los cinco años del ensayo, las principales fuentes de N han de ser:

- Mineralización de los restos de cosecha.
- Fijación por los rizobios simbióticos de las leguminosas presentes en la rotación.
- Fijación, aunque en menor medida, mediante los diazótrofos de vida libre (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*,...).
- En trabajos realizados en países del norte de Europa se tiene en cuenta la deposición atmosférica de elementos contaminantes nitrogenados como un factor significativo, incluso clave, del balance de nitrógeno, que con este aporte llega a hacerse positivo en granjas en régimen ecológico, tanto ganaderas como no ganaderas (Berry *et al.*, 2003). No se ha encontrado información suficientemente precisa sobre este fenómeno en España, pero el escaso régimen hídrico del lugar de los ensayos y su relativa lejanía a centros industriales fuertemente contaminantes han de limitar su importancia.

La mineralización de los restos de cosecha requiere la actividad de los microorganismos del ciclo del nitrógeno: proteolíticos, amonificantes, nitritantes y nitratantes. Resulta interesante que mientras que los amonificantes se encuentran en grandes cantidades (ver tabla 4.3.6) los nitrificantes son muy escasos. Todo ello parece indicar que la especie química predominantemente absorbida por los cultivos es el amonio, lo que puede estar relacionado de forma indirecta con el pH básico del suelo, tal como se tratará de exponer a continuación. Dado que el pKa de la de la disociación del amonio en amoniaco y protones es 9,25, a pH 8,36, que es la media interanual de nuestros suelos, la especie dominante será el amonio. Por otro lado, las especies químicas del nitrógeno (NO_3^- y NH_4^+), dado que es el nutriente absorbido en mayor cantidad por las plantas, juegan un papel importante en el balance total catión-anión de las raíces y el suelo (Nye 1986 en Hinsinger 1998). Cuando la planta absorbe amonio, compensa las cargas extruyendo protones, mientras que cuando absorbe nitrato extruye hidroxilos o bicarbonato para compensar la carga negativa (Riley et Barber 1971; Weimberger y Yee 1984; Gahoonia *et al.*, 1992 en Hinsinger

Capítulo 4. Resultados y discusión

1998). En nuestro ambiente básico la planta absorberá preferentemente amonio frente al nitrato, ya que la compensación de cargas acidificará la rizosfera lo cual es beneficioso para la movilización de otros nutrientes, especialmente el fósforo (Hinsinger y Gilkes 1997). Además, dado que en nuestro caso el nitrógeno disponible en el suelo es de origen orgánico, -bien vía fijación, bien vía mineralización-, es fácil deducir que los cultivos competirán activamente con los microorganismos nitrificantes por la absorción de amonio, que, por otro lado, al estar ya reducido ahorra a la planta un proceso de asimilación energéticamente costoso. Todo ello es coherente con las bajas poblaciones de nitrificantes y las altas de amonificantes y parece indicar que tampoco resulta mayoritaria la absorción directa de aminoácidos e incluso proteínas comprobada por algunos autores (Koga *et al.*, 2001).

Para las finalidades y el contexto de este trabajo resulta del máximo interés la constatación de lo que podríamos denominar *producciones sostenibles en régimen oligotrófico* que tienen uno de sus pilares básicos en la estabilidad de los niveles de nitrógeno disponible para las plantas. La estabilidad de los niveles de nitrógeno en valores entre 0,010% P/P (monocultivo de maíz) y 0,020 %P/P (rotación maíz leguminosa) está ampliamente demostrada en experimentos de muy larga duración (más de un siglo) llevados a cabo en mollisoles de Estados Unidos (Stevenson 1982), pero falta comprobarlos con los cultivos, suelos y clima de Castilla y León.

Finalmente hacer notar que son los yeros los que parecen tener un balance más positivo en el binomio fijación-extracción de nitrógeno en el suelo, mostrando valores significativamente más elevados que los otros cultivos (tablas 4.2.1 y 4.2.3). Tomando como referencia el valor inicial, tres de los cuatro cultivos suponen globalmente un incremento significativo del nitrógeno, hasta un 14% de los yeros. La avena, como cultivo que aporta mayor cantidad de restos orgánicos, con un incremento del 9% iguala a la veza (+8%) en incremento del nitrógeno total del suelo.

4.2.5. C/N.

El cociente Carbono/Nitrógeno presenta diferencias significativas a lo largo del tiempo, con un mínimo en 2005-2006 coincidiendo con el mínimo de materia orgánica provocado a su vez por la sequía de 2004-2005, haciendo ver que la M.O. aportada ese año era más pobre en celulosa con relación a las proteínas y nucleótidos, es decir, al protoplasto vivo. La avena, que es la que aporta más M.O., es el único cultivo que

sube C/N respecto del estado previo, haciendo notar que el aporte ha sido especialmente rico en celulosa.

4.2.6. Carbonatos totales.

El ión carbonato presenta valores significativamente inferiores en el muestreo de noviembre de 2005, tras la fuerte sequía de la campaña 2004-2005. Coincide este año con una disminución significativa de la materia orgánica y un comportamiento similar del anión fosfato.

4.2.7. Fósforo.

La complejidad de las interacciones entre las distintas especies químicas del fósforo en el suelo entre sí y con las activas raíces de las plantas y sus comunidades rizosféricas, reducen de forma importante la predictibilidad de su comportamiento (Hinsinger 2001), esto incluye el momento en que este elemento pasa a ser el limitante del crecimiento del cultivo, lo cual es un dato de máximo interés.

La analítica habitual y la seguida en este trabajo ofrece datos de la fracción soluble o asimilable de fósforo en el suelo, y como se puede comprobar en la Figura 4.2.2 (y tablas 4.2.1 y 4.2.2) se mantiene aproximadamente constante durante cuatro de los cinco años en valores considerados medios y el último año bajan a valores medios-bajos.

Las extracciones realizadas por los cultivos, pueden considerarse normales para el ambiente edafoclimático. El mantenimiento de los valores puede explicarse por el papel que los propios cultivos juegan en la movilización del fósforo existente en el suelo, mediante vaciamiento-difusión-equilibrio, acidificación compensadora de carga por la absorción de amonio, extrusión de citrato y otros ácidos orgánicos y colaboración con bacterias y hongos rizosféricos (ver introducción: Hinsinger 2005; Hinsinger 2001; Junk 1996; Kirk 1999; Smyley 1974; Römheld 1986; Jaillard *et al.*, 2001; Gahoonia *et al.*, 1992; Tang *et al.*, 1997; Rengel y Marschner 2005).

Análisis realizados en las parcelas con posterioridad (2009), pero en este caso del fósforo total, arrojan valores medios de 600 mg/kg de suelo, es decir, entre 30 y 60 veces superior al fósforo soluble presente. Teniendo en cuenta que el volumen de

Capítulo 4. Resultados y discusión

suelo explorado por la rizosfera de los cultivos en lo que a extracción de fósforo se refiere se sitúa en torno al 1% del volumen total de suelo abarcado por la raíz (Gahoonia *et al.*, 2001; Nigussie *et al.*, 2003 en Rengel y Marschner 2005) y las reposiciones en forma de restos de cosecha, no es descabellado pensar “grosso modo” en varios cientos de años de producción sostenida sin requerimiento exógeno de fósforo (Rengel y Marschner 2005), tanto más en las condiciones de limitación climática a las que se refiere este trabajo. La sostenibilidad completa puede llegar de la mano de adiciones puntuales de abono orgánico, como es el caso en la finca que nos ocupa, aunque no de los cultivos ensayados.

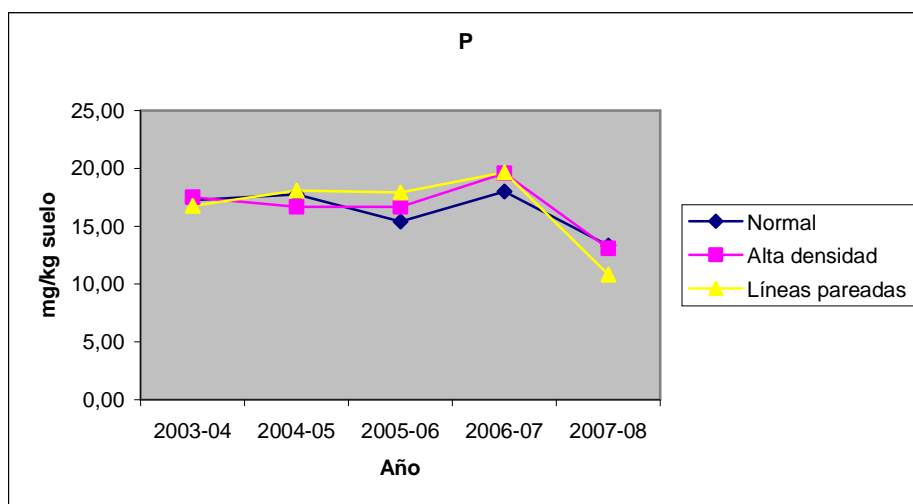


Figura 4.2.2. Valores medios de fósforo edáfico a lo largo de las cinco campañas en parcelas sembradas con distintas técnicas. Cada punto es el valor medio de 12 análisis.

La caída de los niveles de fósforo asimilable del último año pueden atribuirse igualmente a las fuertes extracciones de los cultivos de la campaña 2006-2007 y a la fecha de muestreo (marzo 2008) en la que los cultivos ya han extraído una parte del fósforo que necesitarán para su crecimiento presumiblemente a partir de la fracción soluble, sin que haya habido tiempo de recuperar los niveles a partir de la fracción insoluble.

Por último, las comparaciones realizadas entre distintos cultivos muestran que los yeros parecen movilizar menos fósforo del que utilizan, provocando una disminución transitoria del fósforo soluble (Tabla 4.2.3). El fósforo es otro pilar fundamental de la sostenibilidad de la fertilidad de suelos oligotróficos.

4.2.8. Potasio.

El K se mantiene en niveles considerados agronómicamente muy altos a lo largo del periodo de ensayo, y sin variación significativa entre el estado inicial y el último muestreo, aun teniendo en cuenta que dicho muestreo se realizó en un momento del ciclo en que se había producido un importante consumo por parte del cultivo. Se observan, no obstante, aumentos significativos en el periodo intermedio, atribuibles a un progresivo aumento de la capacidad del complejo de cambio, ya que la estabilización del suelo como resultado de la eliminación del laboreo más agresivo con inversión de horizontes, puede haber tenido como consecuencia mejorar el nivel de estructuración mediante la asociación de la materia orgánica con las arcillas. No parece ajeno a esta hipótesis el hecho de que el K aumentó de forma significativamente superior tras la avena, que coincide con ser el cultivo que mayor cantidad de restos orgánicos aportó.

4.2.9. Magnesio.

El Mg sigue un proceso muy paralelo al del K, creciendo su concentración tres temporadas y disminuyendo ligeramente las dos últimas, lo que viene apoyar la idea de la ampliación del complejo de cambio y la migración de los cationes desde el componente mineral del suelo. En este caso, sin embargo fué la cebada el cultivo tras el cual se registró un mayor incremento del Mg.

4.2.10. Calcio.

La materia orgánica vegetal contiene la cuarta parte de Ca que de N, pero el doble de Ca que de P (Salisbury *et al.*, 1969 en Barceló *et al.*, 2000). Es por tanto un elemento que se requiere en cantidades relativamente grandes, aunque por estar realizados los ensayos en un cambisol cálcico, en ningún momento el Ca puede llegar a ser limitante. Resulta llamativo el fuerte y progresivo incremento de calcio total a lo largo de los años, tan solo modulado por una caída el último año, en claro paralelismo con el proceso sufrido por el K y el Mg (Figura 4.2.3).

No cabe pensar que la movilización de fosfato soluble a partir de fosfatos de calcio sea la causa, ya que el fosfato absorbido por los cultivos es dos órdenes de magnitud inferior a los aumentos de Ca observados, y por otro lado los iones Ca^{++} liberados, a pH 8,4 volverían a precipitar como sales carbonatadas. La razón hay que buscarla de

nuevo en la ampliación de la capacidad de cambio del suelo, que ha permitido que los iones Ca^{++} liberados por efecto de la acidez del agua de lluvia en el equilibrio carbónico-carbonatos, permanecieran en el estrato superficial del suelo sin percolar al subsuelo.

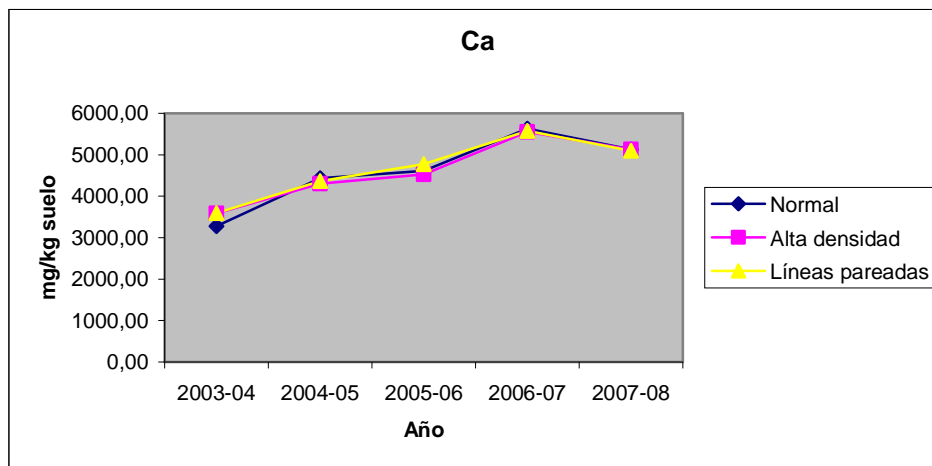


Figura 4.2.3. Valores medios de Ca a lo largo de las cinco campañas en las microparcels sembradas con distintas técnicas. Cada punto es el valor medio de 12 análisis.

4.2.11. Resumen de los resultados del estudio químico del suelo

Destaca el hecho de que a pesar de haber diferencias significativas entre los diversos años, no existe tendencia decreciente para los nutrientes monitorizados, incluidos el P y el N. Los descensos de ciertos nutrientes en el último muestreo parecen deberse más bien al retraso en la fecha de muestreo. La explicación de estos resultados hay que buscarla en el contexto edafoclimático del ensayo, en la evolución positiva de la fertilidad del suelo y en la dinámica de movilización y extracción de nutrientes del suelo por las plantas.

Por un lado nos encontramos con el ya mencionado “techo ambiental” es decir, que la productividad máxima de un agroecosistema, que en todo caso es la que permite el más restrictivo de los factores que intervienen en el proceso productivo, depende de factores más o menos ajenos a la influencia humana (Brown 1997; Lacasta *et al.*, 2006b. Lacasta y Bello 1989). Las mesetas centrales de la Península Ibérica tienen un claro techo ambiental climático. En series de hasta 11 años los autores mencionados han podido comprobar que la productividad media del secano es equivalente con cualquier tipo de manejo, tanto si incluye abono mineral u orgánico como si no se efectúa fertilización. Si se repasan las condiciones climáticas del ensayo se puede

apreciar que hay un año de clima que puede considerarse muy adverso (2004-05) y otro adverso (2005-06), el primero por la muy escasa pluviometría general y el segundo por una conjunción de escasa pluviometría y altas temperaturas en momentos críticos del cultivo (Figura 4.1.3). Estos años en los que el clima limita drásticamente la productividad, las escasas extracciones de nutrientes permiten al suelo mantenerlos en niveles más o menos estables.

Por otro lado la estabilización del suelo provocada por las labores superficiales podría haber aumentado la capacidad del complejo de intercambio iónico, lo cual se habría reflejado en un aumento de todos los iones respecto del estado inicial, y muy especialmente de los cationes cambiables.

Por último, nos encontramos con el hecho suficientemente demostrado de que las plantas participan de forma muy activa en la movilización de los nutrientes del suelo, y siempre que un nutriente esté presente, aun bajo formas no asimilables, el cultivo y los microorganismos rizosféricos asociados despliegan una batería de sistemas para en último término, absorberlo.

La serie analítica de la que se dispone en este trabajo no es suficientemente larga como sostener la hipótesis de la estabilidad química de este agrosistema específico sin la adición de fertilizantes. Sin embargo, el hecho de que el techo ambiental mencionado no haya permitido que la aplicación de las técnicas agrícolas industriales mejoren las producciones medias de estos secanos en la medida que lo ha hecho en secanos de otros climas más propicios o en los regadíos, permite suponer que la práctica ecológica propuesta en estos ensayos no ha de hallarse muy lejos de dicha homeostasis, en virtud de la cual, cultivos en régimen oligotrófico pero con la productividad limitada por factores climáticos la mayoría de los años, pueden mantener sus producciones medias estables solamente con los restos de cosecha y la inclusión de leguminosas en las rotaciones. Esto no significa en modo alguno una vuelta atrás o la renuncia a los avances técnicos, la maquinaria y las variedades lo son, sino solo a aquellos aspectos que parecen no adecuarse a las condiciones semiáridas que nos ocupan, como es el caso de la adición de abonos minerales, y aún esta misma renuncia, realizada por criterios técnicos, no ideológicos.

Finalmente, es necesario hacer notar que, mientras que las técnicas de cultivo han resultado prácticamente indiferentes para las variables químicas del suelo

monitorizadas, los cultivos han mostrado síntomas de influir de forma diferenciada en el suelo:

- Las leguminosas han elevado los niveles de Na y acidificado el suelo más que los cereales
- Los yeros han enriquecido más en N y han empobrecido más el P
- Los cereales han aumentado más el cociente C/N
- La avena ha aumentado más materia orgánica, el K y los carbonatos que el resto

4.3. Evolución de la actividad biológica y la microbiología del suelo.

4.3.1. Actividad biológica.

Las tablas 4.3.1 y 4.3.2 presentan los resultados del ensayo que incluye las campañas 2005-06 y 2006-07 en los cuatro cultivos. La primera de ellas contiene los principales parámetros de referencia del ANOVA y la segunda los valores medios pormenorizados de actividad ureasa, biomasa microbiana y respiración del suelo de las dos campañas, los cuatro cultivos y las tres técnicas de siembra.

Las tablas 4.3.3 y 4.3.4. presentan los resultados de las campañas 2005-06, 2006-07 y 2007-08 en el cultivo de yeros. Del mismo modo, la primera contiene los datos del ANOVA y la segunda los valores medios detallados.

Las tablas 4.3.5 y 4.3.6 presentan los resultados de los análisis estacionales llevados a cabo en la campaña 2007-2008, la primera contiene los datos del ANOVA y la segunda los valores medios detallados.

4.3.1.1. Actividad ureasa.

Siguiendo la misma metodología que en este trabajo (electrodo selectivo de amonio), Trasar-Cepeda *et al.* (2000) encontraron en suelos forestales atlánticos valores en un intervalo de 1,76-66,3 $\mu\text{g NH}_4^+$ g suelo⁻¹ h⁻¹. Usando otros métodos se han encontrado valores de hasta 336 $\mu\text{g NH}_4^+$ g suelo⁻¹ h⁻¹ (Tabatabai y Brenner 1972) y también valores cero (Sinsabaugh *et al.*, 2000). Los valores medios obtenidos en nuestro trabajo varían de 14 a 118 $\mu\text{g NH}_4^+$ g suelo⁻¹ h⁻¹, con una variación interanual (Tabla 4.3.4) muy superior a la estacional (Tabla 4.3.6).

4.3.1.2. Biomasa microbiana.

Siguiendo la misma metodología que en este trabajo (fumigación-incubación), Jenkinson y Powlson (1976) encontraron intervalos 170-390 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$ en barbechos y 200-470 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$ en suelos cultivados con trigo. Vance *et al.* (1987) en suelos forestales encontraron valores de 289-656 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$. Moore *et al.* (2000), en una rotación de cultivos encontraron un intervalo de 140-270 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$. En nuestros ensayos se han obtenido valores entre 78 y 603 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$ afectados de una fuerte variación interanual y estacional (Tabla 4.3.6).

4.3.1.3. Respiración del suelo.

Usando el mismo método que en este trabajo (absorción estática), Connant *et al.* (2000) encontraron en suelos semiáridos no agrícolas valores entre 780 y 1500 $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En suelos daneses de pasto posteriormente sometidos a laboreo y sembrados con cebada, Eriksen y Jensen (2001) encontraron un intervalo de valores entre 1176 y 1344 $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En nuestros ensayos los valores medios han variado entre 535 y 1145 $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

Tabla 4.3.1. Resultados del análisis de la varianza de los tres parámetros seleccionados para evaluar la actividad biológica del suelo en una variedad de cada cultivo durante las campañas 2005-06 y 2006-07. Nivel de significación * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

	Ureasa		Biomasa microbiana		Respiración edáfica	
	F	P	F	P	F	P
Año	419,543	<0,001***	231,642	<0,001***	41,08	<0,001***
Cultivo	1,125	0,348	2,305	0,089	4,345	0,009**
Técnica	5,324	0,008**	12,271	<0,001***	9,441	<0,001***
Año*cultivo	1,947	0,135	1,044	0,382	3,647	0,019*
Año* Técnica	3,659	0,033*	3,307	0,045*	3,464	0,039*
Cultivo*Técnica	1,126	0,362	0,557	0,762	1,066	0,396
Año*Cultivo*Técnica	0,82	0,56	0,622	0,712	2,076	0,074
Parcela	1,612	0,199	0,979	0,411	3,182	0,032*
Año * Parcela	1,459	0,237	2,371	0,082	4,810	0,005**
Tec * Parcela	0,783	0,587	0,726	0,631	1,890	0,102
Año * Tec * Parcela	1,163	0,342	0,453	0,840	1,252	0,297

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.3.2. Valores medios de actividad biológica edáfica en dos campañas 2005-2007 para una variedad de cada uno de los cuatro cultivos. En horizontal, para cada parámetro, los valores acompañados de letras mayúsculas distintas presentan diferencias significativas entre cultivos. En vertical, para cada parámetro, las cifras acompañadas de letras minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre técnicas de cultivo (test de Tukey). Nivel de significación * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Parámetro	Técnica	Campaña 2005-06					Campaña 2006-07				
		Cebada P3	Yeros P1	Veza P4	Avena P2	Promedios	Cebada P1	Yeros P2	Veza P3	Avena P4	Promedios
Ureasa ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}$ suelo h^{-1})	Alta densidad	17,7	17,4	17,4	16,4	17,2b	40,4	43,7	41,6	42,4	42,0a
	Líneas pareadas	10,2	8,8	9,6	10,1	9,7a***	37,0	32,4	42,8	46,3	39,6a
	Densidad normal	17,3	17,1	16,7	15,6	16,7b	33,7	40,9	35,0	44,0	38,4a
	Promedios	15,1B*	14,4AB	14,6AB	14,0A	14,5	37,0A	39A	39,8A	44,2A	40,0
Biomasa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo)	Alta densidad	497	511	483	502	498b	94	205	305	234	210a
	Líneas pareadas	362	376	341	362	360A***	63	184	92	106	111a
	Densidad normal	463	533	497	519	503b	78	170	113	163	131a
	Promedios	440A**	473B	440A	461B	453	78A	186A	170A	167A	150
Respiración edáfica (mg C-CO_2 $\text{m}^{-2} \text{día}^{-1}$)	Alta densidad	891	859	878	910	884b	980	961	1140	815	974a
	Líneas pareadas	674	770	655	617	679a***	910	815	1184	891	950a
	Densidad normal	826	905	910	821	865b	853	1060	1133	1121	1046a
	Promedios	797AB	844B	814AB	782A*	809	914A*	945AB	1152B	942AB	990

Tabla 4.3.3. Resultados del análisis de la varianza de los parámetros seleccionados para evaluar la actividad biológica para tres campañas (2005-2008) en yerros. Nivel de significación *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001

	Ureasa		Biomasa microb.		Respiración	
	F	P	F	P	F	P
AÑO	37,727	<0,001***	41,276	<0,001***	39,55	<0,001***
TEC	0,36	0,703	1,971	0,301	2,766	0,001***
AÑO * TEC	0,329	0,855	0,749	0,03*	8,743	<0,001***

Tabla 4.3.4. Valores medios de actividad biológica edáfica en tres campañas (2005-2008) en yerros. En horizontal, para cada parámetro, los valores acompañados de letras mayúsculas distintas presentan diferencias estadísticamente significativas entre cultivos. En vertical, para cada parámetro, las cifras acompañadas de letras minúsculas diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas entre técnicas de cultivo (test de Tukey). *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001; ns: no significativo

Parámetro	Técnica	Campaña			
		2005-06	2006-07	2007-08	
					Promedios ns
Ureasa ($\mu\text{gNH}_4^+\text{g}^{-1}$ suelo h^{-1})	Alta densidad	17,4	43,7	63,0	41,4a
	Líneas pareadas	8,8	32,4	74,1	38,4a
	Densidad normal	17,1	40,9	65,6	41,2a
	Promedios***	14,5A	39,0B	67,5B	
					Promedios ns
Biomasa mic. (μgCg^{-1} suelo)	Alta densidad	533	205	215	317a
	Líneas pareadas	377	184	251	270a
	Densidad normal	512	233	147	297a
	Promedios ***	474B	208A	204A	
					Promedios ***
Respiración ($\text{mg C-CO}_2 \text{m}^{-2}$ día^{-1})	Alta densidad	859	962	672	831b
	Líneas pareadas	770	815	556	714a
	Densidad normal	905	1060	377	781b
	Promedios ***	844B	945C	535A	

4.3.1.4. Discusión de los resultados de la actividad biológica del suelo.

En el ensayo correspondiente a los cuatro cultivos en dos campañas, las diferencias más fuertes y claras encontradas son las que existen entre las dos campañas consideradas, pues afectan a los tres factores medidos, proceden de un alto número de muestras (36) y tienen alta significación estadística (tabla 4.3.1). Sin embargo no son fáciles de interpretar, pues mientras que el valor medio de la biomasa microbiana se reduce (pasa de 454 $\mu\text{g C g suelo}^{-1}$ el primer año a 151 el segundo) la actividad ureasa y la respiración del suelo aumentan (pasan de 14 a 40 $\mu\text{g NH}_4^+ \text{g suelo}^{-1} \text{h}^{-1}$ y de 809 a 990 $\text{mg C-CO}_2 \text{m}^{-2} \text{día}^{-1}$ respectivamente). La explicación de estos resultados aparentemente contradictorios puede fundamentarse en los siguientes aspectos.

- En suelos no fertilizados la baja disponibilidad de nutrientes (nitrato, amonio, fosfato, etc) puede limitar el crecimiento de los microorganismos rizosféricos a pesar de los

Capítulo 4. Resultados y discusión

compuestos carbonados exudados por la raíz (Van Veen *et al.*, 1989 en Van Elsas *et al.*, 1997), es decir, que las plantas pueden tener una acción contradictoria sobre la actividad de los microorganismos: por un lado estimulan su crecimiento mediante la emisión de sustratos orgánicos carbonados y por otro lo limitan mediante el vaciamiento local de nutrientes como el amonio, el nitrato y el fosfato. En ensayos realizados a microescala, Binnerup y Sorensen encontraron concordancia entre una alta concentración de compuestos nitrogenados y una alta cantidad de UFCs bacterianas en el rizoplasma, es decir, en la epidermis radicular, coincidiendo también una baja concentración de ambos en la rizosfera, hasta una distancia de 2 cm del rizoplasma (Binnerup y Sorensen 1992 en Van Elsas *et al.*, 1997). Si se tiene en cuenta que los análisis de intercambio de CO₂ (respiración del suelo) de nuestros ensayos se llevan a cabo sobre suelo intacto del que solo se retira la masa orgánica superficial, y que los análisis de biomasa microbiana se realizan sobre suelo tamizado en el que, por tanto, no estarán incluidas las bacterias y otros microorganismos adheridos al rizoplasma, puede suceder que el suelo completo muestre más actividad respiratoria correspondiente tanto a las raicillas no retiradas como a los microorganismos adheridos a ellas, mientras que la biomasa de los microorganismos de la rizosfera se ve impedida temporalmente de crecer debido a la escasez de nitrógeno y fósforo provocada por la absorción radicular, produciéndose así la paradoja de que una mayor abundancia de arvenses en el momento de la toma de muestras provoca un aumento de la tasa de intercambio de CO₂ del suelo intacto y una disminución de las UFCs bacterianas observadas sobre suelo tamizado. Por último, hay que tener en cuenta que las oscilaciones térmicas, tanto de un año a otro como en el plazo de unos días, también pueden explicar el aumento de la respiración coincidiendo con la disminución de la biomasa microbiana. La Q₁₀ de la respiración del suelo encontrada por Sasaka en suelos de Noruega (Sasaka *et al.*, 2004) fue en todos los casos superior a 2,2, es decir, por cada 10 grados de incremento de temperatura la actividad respiratoria aumentó al menos en un 220%. Aunque no se puedan transponer estos resultados de forma automática entre ambientes tan distintos, si se puede afirmar que puede haber menos microorganismos, pero si el día que se hace la prueba hay una temperatura superior, estos pueden tener una actividad metabólica más intensa, y por tanto mayor emisión de CO₂ por respiración.

- En lo que se refiere a la actividad ureasa, sus bajas correlaciones con la biomasa microbiana son conocidas (Cochran *et al.*, 1989) debido a que el enzima se presenta libre, estable y activo en el suelo (Kanderer *et al.*, 1999). Las buenas correlaciones

halladas por otros autores entre la actividad ureasa y la cubierta vegetal o la cantidad de materia orgánica del suelo (García *et al.*, 1999) no pueden explicar en este caso el fuerte crecimiento de esta actividad enzimática a lo largo de las tres campañas, cuyos valores medios pasaron de 14,5 a 39 y 67 $\mu\text{g NH}_4^+ \text{g suelo}^{-1} \text{h}^{-1}$ (tabla 4.3.4). Existe, sin embargo, un elemento ambiental que no ha pasado desapercibido y que si puede explicar las cifras halladas. Se trata de la plaga de topillo. *Coto bajo de Matallana* se encuentra en lo que fue la zona de incidencia de la plaga que comenzó en verano de 2006 y tuvo su máximo en verano de 2007. La incidencia no fué extrema debido quizás a la abundancia de rapaces de la finca, pero si lo suficientemente fuerte como para poder observar el precipitado blanco de urea en los suelos. Esta abundancia de urea puede explicar el aumento de la actividad ureasa. Los resultados son coherentes con el hecho de que el punto álgido de la plaga sucediese en verano de 2007 y la población volviese a sus niveles normales en diciembre, pues en suelos con suficiente arcilla y materia orgánica y no tratados con herbicidas, la actividad ureasa puede sostenerse aún cuando los microorganismos que la crearon hayan descendido en número, ya que el enzima sigue funcionando adsorbido al complejo argilo-húmico (Pascual *et al.*, 2002). Por lo cual, teniendo en cuenta que los muestreos fueron realizados en los meses de noviembre de los años 2005, 2006 y 2007, es posible emparejar los resultados al desarrollo de la plaga.

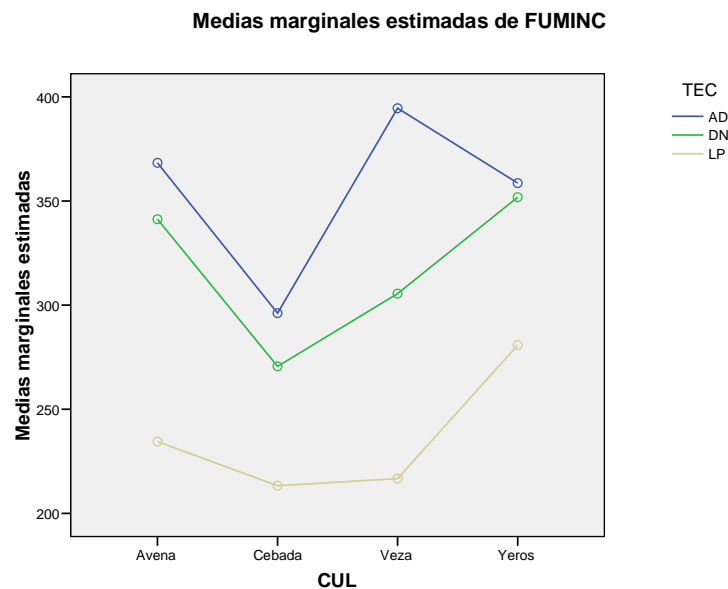


Figura 4.3.1. Valores medios de biomasa microbiana (Fumigación-incubación) de las campañas 2005-06 y 2006-07 en las parcelas sembradas con distintas técnicas (AD: Alta densiad; DN Densidad normal; LP: Líneas pareadas)

Existen diferencias altamente significativas entre las técnicas de siembra para los tres parámetros de actividad biológica edáfica, y además existen interacciones

Capítulo 4. Resultados y discusión

significativas ($p < 0,05$) entre campañas y técnicas. En 2005-06 los valores de respiración del suelo, biomasa microbiana y actividad ureasa de las parcelas sembradas en LP son 24, 28 y 44% menores respectivamente que los de las parcelas sembradas en DN y AD. En 2006-07 aún se observa la tendencia pero las diferencias ya no son significativas (Tabla 4.3.2), a pesar de lo cual el cómputo global de ambos años sigue siendo altamente significativo en este sentido (Tabla 4.3.1, Figura 4.3.1).

En lo referente a las técnicas de siembra, los suelos de las parcelas sembradas en líneas pareadas han mostrado valores significativamente inferiores de los tres parámetros en la campaña 2005-06 y en las campañas 2005-06 y 2006-07 tomadas como conjunto (Tablas 4.3.1 y 4.3.2). Tomando las tres campañas en conjunto (Tablas 4.3.3 y 4.3.4) solo se mantienen estas diferencias en la respiración del suelo.



Figura 4.3.2. Parcela de cebada sembrada en líneas pareadas en la campaña 2005-06. Puede observarse que el cultivo está en un estado muy avanzado de madurez y los espacios entre las líneas pareadas siguen sin cubrir.

En una campaña seca (2005-2006, precipitación: 301mm), pero sobre todo, productivamente muy mala (datos no mostrados en este trabajo) y que seguía a otra de peores características (2004-2005, precipitación: 114mm), los cultivos sembrados en LP quedaban muy lejos de ocupar los espacios de las líneas no sembradas y, al ser aricados, los suelos permanecían durante meses descubiertos, expuestos a la intemperie, perdiendo humedad y estructura y ofreciendo un aspecto que hacía presagiar los resultados que después efectivamente se obtuvieron (Figura 4.3.2). En

los años siguientes, con abundantes lluvias, la fuerte cobertura de arvenses y del propio cultivo fueron sellando las diferencias entre técnicas hasta anularlas o incluso invertirlas en algún caso en 2007-08 (Tabla 4.3.4). No sería aventurado afirmar que en condiciones de sequía la siembra en líneas pareadas perjudica la vida en el suelo y, si la actividad biológica puede considerarse como un sistema de alerta temprana para la evaluación de la fertilidad (Alvear *et al.*, 2005; Joergensen y Emmerling, 2006), se podría concluir que en suelos donde son normales los años secos y muy secos, como es el caso, la siembra en LP no es recomendable desde este punto de vista.

4.3.2. Grupos metabólicos de microorganismos y actividad biológica. Comparación estacional en la campaña 2007-2008.

La amplia variación interanual observada y el relativamente escaso intervalo de variación entre cultivos movieron a reorientar el estudio del último año (2007-08) reduciendo los cultivos en los que se efectuaban análisis a uno pero aumentando los muestreos a cuatro, uno por estación, incluyendo además el estudio de los grupos fisiológicos de microorganismos para conseguir una visión más detallada de lo que sucedía en el suelo a lo largo del año.

Tabla 4.3.5. Resultados del análisis de la varianza de los grupos metabólicos de microorganismos y la actividad biológica del suelo obtenidos en las parcelas sembradas con una variedad de yerros con diferentes técnicas de siembra en cuatro muestreos estacionales en la campaña 2007-08. Nivel de significación *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

	Fecha		Técnica		Fecha* Técnica	
	F	P	F	P	F	P
Aerobios totales	11,8	<0,001***	0,106	0,9	0,182	0,979
Amilolíticos	42,826	<0,001***	1,041	0,369	1,156	0,362
Celulolíticos	1,25	0,311	1,77	0,192	1,03	0,446
Proteolíticos	6,61	0,02*	1,53	0,237	1,68	0,169
Amonificantes	23,11	<0,001***	5,37	0,012*	4,87	0,002**
Nitritantes	2,84	0,059	2,84	0,078	1,5	0,22
Nitratantes	4,8	0,009**	0,001	0,999	1,34	0,29
Ureasa	6,06	0,003**	1,13	0,338	1,16	0,358
Biomasa micr.	86,2	<0,001***	1,6	0,217	2,2	0,7
Respiración suelo	42,26	<0,001***	12,91	<0,001***	13,05	<0,001***

En los resultados obtenidos (Tablas 4.3.5 y 4.3.6), una vez mas es la fecha de muestreo, esta vez estacional, la que presenta mayores diferencias. El análisis de la varianza (Tabla 4.3.5) presenta diferencias significativas estacionales en todos los elementos analizados excepto en celulolíticos y nitritantes, aunque estos últimos están en el límite (p=0,059). En cuanto a técnicas de siembra solo se han encontrado

Capítulo 4. Resultados y discusión

diferencias en amonificantes y respiración del suelo, los mismos para los que hay interacción entre fecha y técnica.

Tabla 4.3.6. Valores medios estacionales de unidades formadoras de colonias (UFCs) de distintos grupos metabólicos de microorganismos y de tres parámetros de actividad biológica del suelo en una variedad de yerros con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008. En horizontal, para cada parámetro, los valores acompañados de letras mayúsculas distintas presentan diferencias estacionales estadísticamente significativas. En vertical, para cada parámetro, las cifras acompañadas de letras minúsculas diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas entre técnicas de cultivo (test de Tukey). Nivel de significación + $p \leq 0.1$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; Ns: No significativo.

Parámetro	Técnica	Fecha				Promedios
		nov-07	ene-08	mar-08	jun-08	
Aerobios totales. Ufc g-1 suelo	AD	733.333	350.000	683.333	1.066.666	Promedios ns 708.333a 800.000a 664.583a
	LP	1.150.000	225.000	700.000	1.125.000	
	DN	933.333	141.666	558.333	1.025.000	
	Promedios***	938.888C	238.888A	647.222B	1.072.222C	
Amilolíticos. Ufc g-1 suelo	AD	249.166	320.000	332.500	14.325.000	Promedios ns 3.806.666a 4.783.333a 4.175.583a
	LP	192.500	372.500	235.000	18.333.333	
	DN	414.833	319.166	516.667	15.916.666	
	Promedios***	285.500A	337.222A	206.388A	16.191.666B	
Celulolíticos Ufc g-1 suelo	AD	687	1100	683	55	Promedios ns 631a 935a 563a
	LP	1100	1241	583	816	
	DN	1050	265	756	183	
	Promedios.ns	945B	868B	674AB	351A	
Proteolíticos Ufc g-1 suelo	AD	1.050	216	126	3.8191	Promedios ns 9.896a 10.719a 870a
	LP	891	346	163	41.475	
	DN	365	1866	306	941	
	Promedios*	768A	810A	198A	26.869B	
Amonificantes. Ufc g-1 suelo	AD	1.303.750	0	13.916.666	531.666	Promedios** 3.938.020b 699.064a 3.317.461ab
	LP	282.916	6	1.366.666	1.146.666	
	DN	54.000	13	11.916.666	1.299.166	
	Promedios***	546.888B	6A	9.066.666D	992.500C	
Nitritantes Ufc g-1 suelo	AD	33,83	33,83	15,00	82,33	Promedios + 41,25b 12,83a 28,83ab
	LP	8,167	14,33	5,00	23,83	
	DN	16,50	3,331	11,33	84,16	
	Promedios+	19,50A	17,17A	10,44A	63,44B	
Nitratantes Ufc g-1 suelo	AD	12,83	1,33	2,00	8,33	Promedios ns 6,12a 5,00a 5,62a
	LP	4,17	0,00	4,167	11,67	
	DN	7,50	1,33	4,33	9,33	
	Promedios**	8,17B	0,89A	3,50A	9,78B	
Actividad ureasa ($\mu\text{gNH}_4^+\text{g}^{-1}$ suelo h^{-1})	AD	130,1	70,6	63,0	135,1	Promedios ns 99,7a 93,0a 79,5a
	LP	106,8	82,8	74,1	109,1	
	DN	71,3	69,9	65,6	111,1	
	Promedios***	102,7B	74,1A	67,6A	118,4B	
Biomasa microbiana ($\mu\text{gC g}^{-1}$ suelo)	AD	261	141	215	624	Promedios ns 310a 328a 279a
	LP	241	245	251	575	
	DN	257	104	147	610	
	Promedios***	253B	163A	204A	603C	
Respiración del suelo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2}$ día^{-1})	AD	209	355	672	399	Promedios*** 409b 470b 315a
	LP	212	372	556	738	
	DN	196	358	377	328	
	Promedios**	206A	362B	535C	488C	

Aerobios totales sigue el patrón más esperable: valores altos en otoño, bajos en invierno, crecientes en primavera (principio de la primavera) y máximos en verano (principio del verano). En otoño aprovechan los restos de cosecha, en invierno las poblaciones disminuyen por falta de recursos y las bajas temperaturas, en primavera aumentan en base a los exudados radiculares de los cultivos y arvenses en proceso de crecimiento (Tabla 4.3.6 y Figura 4.3.3)

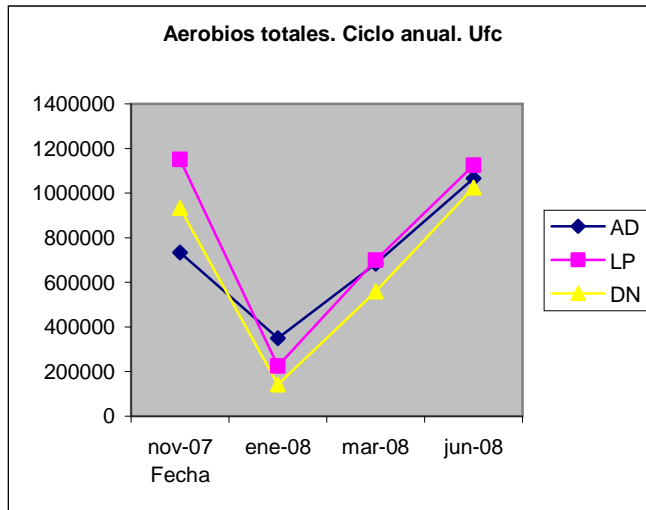


Figura 4.3.3. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de aerobios según distintas fechas y técnicas de siembra en 9 parcelas de yerros cultivadas con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008.

4.3.2.1. Microorganismos del ciclo del carbono.

Los amilolíticos y proteolíticos (Tabla 4.3.6, Figuras 4.3.4 y 4.3.5) disparan su presencia en junio, aunque a niveles de escala diferentes. Mientras que los primeros pasan de valores medios de 300.000 a otros de 16 millones de UFCs por gramo, los proteolíticos pasan de valores de algunos cientos a otros en torno a 40.000 UFCs.

En ambos casos hay que relacionar este comportamiento con el ciclo del cultivo y el factor climático. A principios de junio, con los cultivos en su máximo pico vegetativo, los exudados radiculares, principalmente constituidos por mucopolisacáridos, están también en su punto máximo y pueden constituir hasta el 30% de los productos fotosintéticos de la planta (Hinsinger 2001). Microorganismos entre los que destacan por su abundancia y ubicuidad *Bacillus spp* y *Pseudomonas spp* son habituales comensales de los exudados polisacáridicos radiculares y tienen además la capacidad de sintetizar amilasas de varios tipos. Su abundante presencia en las raíces de los cultivos justificaría el elevado número de UFCs con capacidad amilolítica encontrados, así como el aumento de proporciones similares de los proteolíticos, pues algunas

Capítulo 4. Resultados y discusión

especies de estos géneros tienen esa capacidad (Cariello *et al.*, 2007). Este esquema se ve reforzado por las condiciones climáticas del año, con un invierno muy seco, una primavera también seca al principio (hasta la fecha del tercer muestreo a finales de marzo) y un mes de mayo muy húmedo y fresco que permitió un buen desarrollo del cultivo en este periodo.

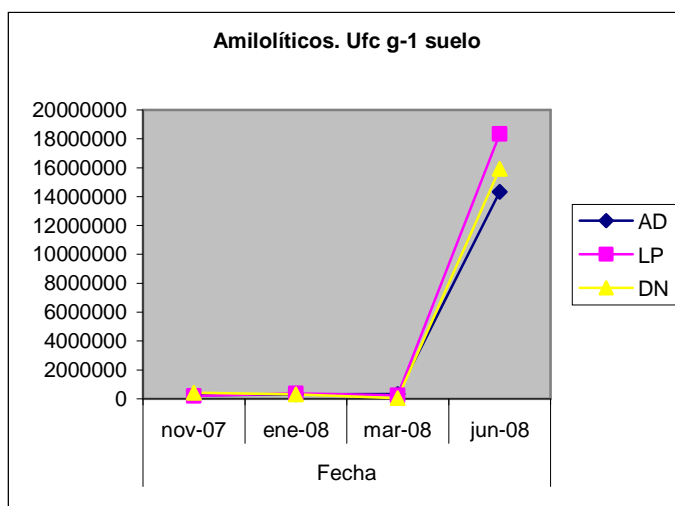


Figura 4.3.4. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos amilolíticos según distintas fechas de muestreo y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.

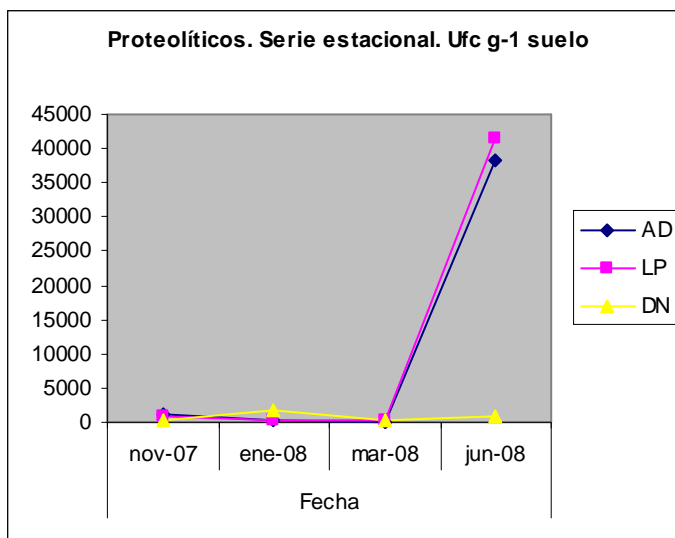


Figura 4.3.5. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos proteolíticos según distintas fechas de muestreo y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.

También cabría plantearse la hipótesis de que la sequía del otoño e invierno hayan retrasado hasta mayo la mineralización de los restos de la cosecha anterior, pero entonces se esperaría que los celulolíticos siguieran un perfil paralelo, lo que no ha sucedido, por lo cual hay que descartar dicha hipótesis. Los microorganismos celulolíticos, que están en cifras muy inferiores a los amilolíticos, han presentado una

cierta tendencia descendente en primavera, que se hace significativa en el muestreo de junio, tendencia que puede explicarse por el progresivo agotamiento de su principal fuente de alimento, los restos de la cosecha anterior.

4.3.2.2. Microorganismos del ciclo del nitrógeno.

En cuanto a los microorganismos del ciclo del nitrógeno, destacan el elevado número de amonificantes frente a los muy escasos efectivos de nitritantes y nitratantes (Tabla 4.3.6; Figuras 4.3.6, 4.3.7 y 4.3.8). Estas fuertes diferencias pueden ser explicadas por los siguientes factores.

- La mayoría de las bacterias heterótrofas del suelo liberan amonio cuando se alimentan de una fuente de carbono nitrogenada, es decir, protoplasto fresco rico en proteínas y nucleótidos, restos quitinosos procedentes del exoesqueleto de insectos y de las paredes celulares de hongos, o mureina (peptidoglicano rico en nitrógeno) de las paredes celulares de bacterias muertas (Alef y Kleiner 1986 en Pozuelo 1991). Según esto, abundancia de amonificantes hace posible una potencial liberación de amonio, aunque no se tenga que producir obligatoriamente, ya que una parte importante de su nutrición puede provenir de moléculas pobres o carentes de nitrógeno, dado que se trata de bacterias zimogénicas, oportunistas, como los amplios y ubícuos géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*. Es decir, que una fuerte presencia en laboratorio de microorganismos capaces de generar amonio no implica necesariamente una actividad amonificante del mismo orden en el suelo.
- Sin embargo las nitritantes y nitratantes son quimiolitótrofas muy especializadas que obtienen su energía de la oxidación de amonio a nitrito y de nitrito a nitrato, por lo que su presencia y abundancia depende del volumen del proceso de nitrificación y por tanto su abundancia si que puede correlacionarse de forma estrecha con la actividad nitrificante presente en el suelo.
- Otro elemento a considerar es la pérdida de amoniaco a la atmósfera ya que el amonio producido está en equilibrio con amoniaco gaseoso. Como ya se comentó con anterioridad, a los pHs de nuestros suelos (8,2-8,5) la fracción de amoniaco en el equilibrio amonio-amoniaco varía del 1% al 15%, por lo que, dada la avidéz de las plantas y el resto de los microorganismos por el nitrógeno, y la dificultad para difundir a través del suelo, es presumible que escape a la atmósfera una fracción poco significativa del amonio total, por lo que hay que descartar este factor como elemento

Capítulo 4. Resultados y discusión

determinante de la gran diferencia entre las poblaciones de amonificantes y nitrificantes.

- Hay que hacer, por último, algunas consideraciones más acerca de la absorción de amonio por las plantas, por el cual competirán con las bacterias nitrificantes. Como ya se ha expuesto en el apartado 4.2, en las condiciones de nuestros cultivos se favorece la absorción de amonio por las plantas en lugar de nitrato. Por un lado, el carácter oligotrófico de la agricultura ecológica hace pensar que las plantas compitan por el nitrógeno accesible en las formas químicas en que aparece en primer lugar, en este caso el amonio, por otro lado, el pH alcalino del suelo ha de mover a la planta a absorber amonio para así neutralizar el balance de carga expulsando protones que acidifican localmente el suelo y ayudan a movilizar el fósforo a partir de sus sales de calcio (Riley et Barber 1971; Weimberger et Yee 1984; Gahoonia *et al.*, 1992 en Hinsinger 1998; Hinsinger y Gilkes 1997).

Todas estas razones justifican el muy escaso el nitrógeno que ha terminado transformado en nitrato en el ciclo del nitrógeno de los suelos estudiados habida cuenta de las escasas bacterias encargadas de hacerlo.

No se encuentra una explicación satisfactoria para la reducción casi a cero de los amonificantes en enero y el salto a más de diez millones de UFCs en marzo (Figura 4.3.6). Es difícil aunque no imposible pensar en un error experimental en los 18 ensayos (9 muestras x 2 réplicas de laboratorio).

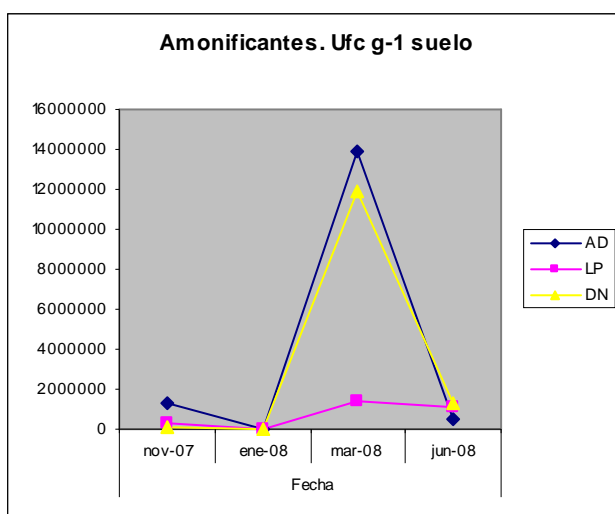


Figura 4.3.6. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos amonificantes según distintas fechas y técnicas de siembra en yeros durante la campaña 2007-2008.

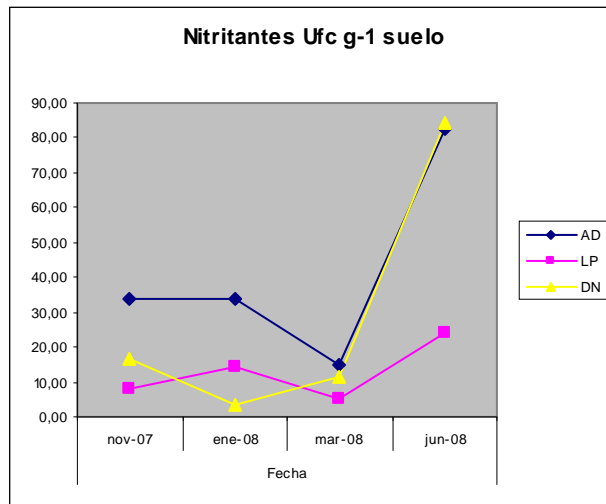


Figura 4.3.7. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos nitritantes según distintas fechas y técnicas de siembra en yerros durante la campaña 2007-2008.

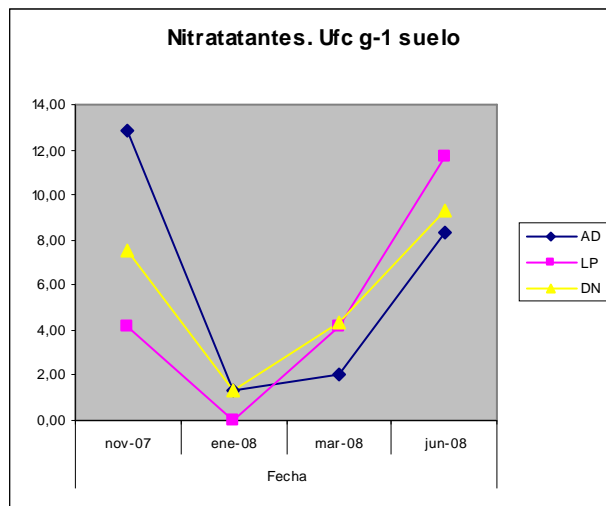


Figura 4.3.8. Valores medios de las unidades formadoras de colonias de microorganismos nitratatantes según distintas fechas y técnicas de siembra en 9 parcelas de yerros cultivadas con distintas técnicas de siembra durante la campaña 2007-2008.

4.4. Evolución de las arvenses.

Las arvenses fueron analizadas desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, tratando de detectar patrones de cambio tanto en la estructura como en el tamaño de las comunidades bajo las diferentes presiones selectivas que se producen con las distintas variedades y técnicas de siembra puestas a prueba. Una fuente de variación no deseada provocada por la gran extensión que ocupan los ensayos (casi 4 ha) es la heterogénea distribución del banco de semillas del suelo que es inevitable a pesar de la homogeneidad del terreno y que es a la vez causa y resultado de la formación de corros de arvenses. La aparición de corros de arvenses que afectan más a unas zonas de la parcela de ensayo que a otras pueden enmascarar o, al menos, condicionar la

Capítulo 4. Resultados y discusión

dinámica fitosociológica asociada a cada cultivo de la rotación, por lo cual se ha considerado que el estudio además de tener los cultivos como referencia, incluya el lugar físico de la parcela general donde estaba ubicado, y que hemos denominado *subparcela*, que reúne 27 parcelas elementales.

Resulta necesario mencionar que los muestreos cuyos resultados se presentan corresponden a los dos últimos años de una serie de cinco que ha durado el ensayo general, por lo que se recogen los efectos acumulados de la realización de las mismas técnicas de siembra en cada microparcela.

4.4.1. Estructura de las poblaciones arvenses.

En total se identificaron 37 especies de arvenses, con comunidades que oscilan entre 3 y 20 especies para fechas de muestreo, cultivos y tratamientos concretos.

Se presentan los valores de importancia relativa de cada especie detectada. Las tablas se han ordenado secuencialmente por subparcelas. Cada secuencia de dos tablas corresponde a una subparcela determinada en los dos años analizados, lo que lleva implícito dos cultivos diferentes y permite evaluar el efecto de la subparcela además del efecto del cultivo y de la meteorología en la estructura de la población. La información se completa con gráficas que representan las especies dominantes en cada caso, el resto se agrupan como *otras*. Este planteamiento se repite, primero para el factor *técnica de siembra* y luego para el factor *variedades*.

Para interpretar los resultados, es importante tener en cuenta que, como se hará ver en el análisis cuantitativo, la densidad y biomasa de arvenses de 2007-08 es muy inferior a la de 2006-07, lo cual ha influido tanto en la variabilidad como en la equitabilidad de las especies en las comunidades.

4.4.1.1. Análisis según técnicas de siembra.

En la subparcela 1, la campaña 2006-07 se cultivó cebada. En febrero se encontraron 18 especies de arvenses (Tabla 4.4.1) entre las que domina con claridad *Papaver roheas* y en un segundo término *Hypocoum imberbe*, *Polygonum aviculare* y *Sinapis arvensis*. En junio se encontraron 13 especies arvenses, domina aún más *P. roheas* y siguen presentes las otras tres (Figura 4.4.1).

La campaña 2007-2008 se cultivó veza. En febrero se encontraron 6 especies arvenses (Tabla 4.4.2), con fuerte dominio de *Sinapis arvensis* y presencia de *P. roheas* y *Verónica hederifolia*. En junio de esta segunda campaña solo hubo tres especies presentes, con gran dominancia de *P. roheas*, escasa presencia de *S. arvensis*, desaparición de *V. hederifolia* y sustitución por *Anthemis arvensis* (Figura 4.4.2). No se aprecian diferencias entre las técnicas de siembra en cuanto a variabilidad ni dominancia en ninguno de los cuatro muestreos.

Tabla 4.4.1. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 1 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Cebada)

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2006-2007									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Cebada/ Subp.1	<i>Sinapis arvensis</i>	12,5	11,7	10,4	11,5	6,6	11,4	10,0	9,3
	<i>Polygonum aviculare</i>	13,2	10,6	15,3	13,0	8,3	12,8	12,9	11,3
	<i>Papaver rhoeas</i>	42,0	52,8	47,1	47,3	64,3	61,6	58,4	61,5
	<i>Chenopodium album</i>	1,0	1,1	2,4	1,5	1,6	2,3		1,0
	<i>Hypocoum imberbe</i>	15,0	5,9	9,4	10,1	12,2	4,9	8,2	8,4
	<i>Anthemis arvensis</i>	5,7	4,4	2,3	4,1	6,0	2,0	3,4	3,8
	<i>Avena fatua</i>						0,6	0,6	0,4
	<i>Sonchus asper</i>		1,3		0,4			0,7	0,2
	<i>Galium aparine</i>	0,4			0,1	0,9			0,3
	<i>Cirsium arvense</i>		0,5		0,2		1,5	2,4	1,3
	<i>Veronica hederifolia</i>	3,4	5,5	6,6	5,1				
	<i>Malva rotundifolia</i>	0,4	0,5	1,2	0,7				
	<i>Lactuca serriola</i>	0,8	1,5	1,1	1,1		0,7	0,7	0,5
	<i>Rohemeria hibrida</i>	4,8	3,4	1,8	3,4		2,2	1,9	1,4
	<i>Descurainia sophia</i>	0,4		0,7	0,4				
	<i>Lamium amplexicaule</i>	0,4		0,5	0,3				
	<i>Fumaria sp</i>			1,1	0,4				
	<i>Veronica polita</i>		0,4		0,1				
	<i>Salsola kali</i>		0,4		0,1				
	<i>Vicia ervilia</i>							0,8	0,3

Ambos años, es decir, tanto con cebada como con veza, se advierten comunidades más ricas en febrero que en junio, lo que responde a que especies tempranas y de ciclo corto como *Hypocoum imberbe*, *Verónica hederifolia* y *Fumaria officinalis* pueden no aparecer en los muestreos de junio, porque su ciclo haya terminado o si la competencia del cultivo ha sido adecuada, lo cual depende de la fecha de siembra y la distribución de las lluvias. En los muestreos de febrero se observa un cambio en la dominancia de la amapola (*P. roheas*) en cebada, a la mostaza (*S. arvensis*) en veza (Figura 4.4.1.), lo que parece consecuente atribuir a efectos climáticos y no del cultivo, ya que en las subparcelas 2 y 3 se producen relevos similares pero de yerros a cebada

Capítulo 4. Resultados y discusión

(Figura 4.4.3.) y de veza a avena (Figura 4.4.5.) En junio se produce una fuerte dominancia de *P. roheas* las dos campañas.

Tabla 4.4.2. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 1 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Veza).

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2007-2008									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Veza / Subp.1	<i>Sinapis arvensis</i>	64,5	58,1	51,7	58,1	5,9	14,3	11,7	10,7
	<i>Papaver rhoeas</i>	15,5	23,9	13,3	17,6	83,3	74,7	79,2	79,1
	<i>Hypocoum imberbe</i>	3,8	1,3	6,9	4,0				
	<i>Anthemis arvensis</i>					10,8	11,0	9,1	10,3
	<i>Fumaria officinalis</i>	4,3	1,3		1,9				
	<i>Galium aparine</i>	1,0			0,3				
	<i>Veronica hederifolia</i>	10,9	15,5	28,0	18,1				

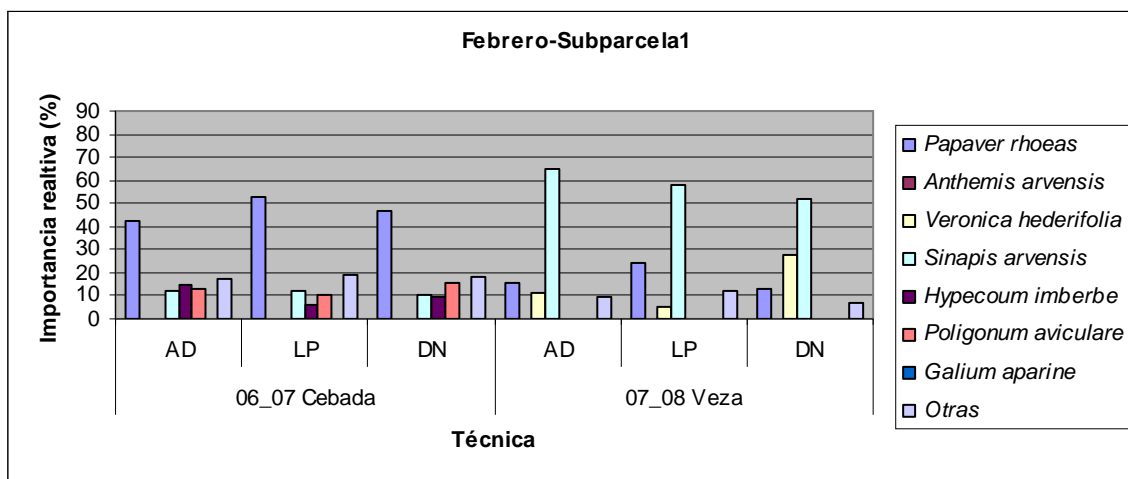


Figura 4.4.1. Valores del Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 1 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.

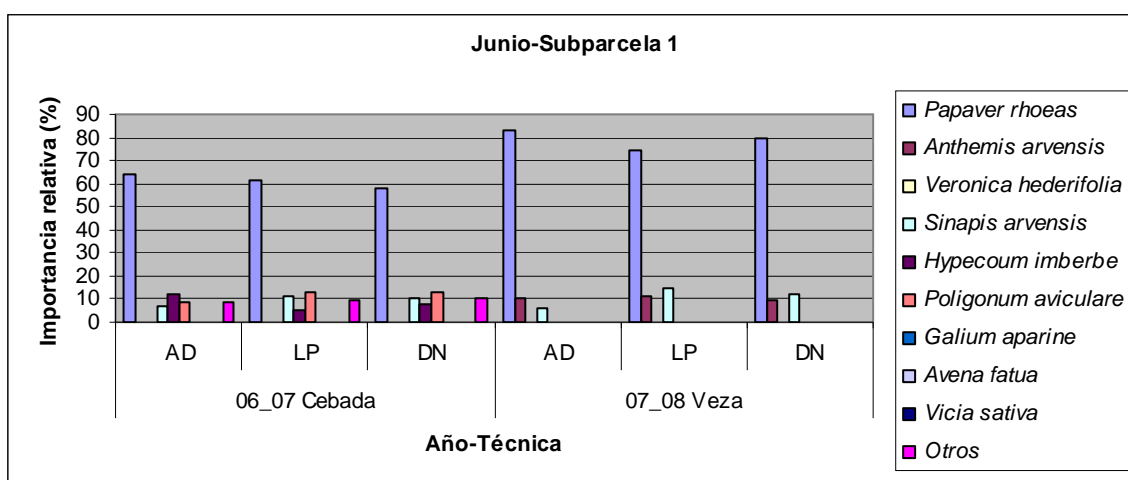


Figura 4.4.2. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 1 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.

En la subparcela 2, la campaña 2006-2007 se cultivaron yerros. En febrero se encontraron 18 especies arvenses (Tabla 4.4.3), con dominancia de *H. imberbe*, y el resto de los efectivos muy repartidos entre las demás especies. En junio se muestrearon 16 especies con prevalencia, que no clara dominancia, de *P. roheas*, *A. arvensis*, y *Vaccaria hispánica*. Ni en febrero ni en junio parece haber diferencias entre las técnicas de siembra en cuanto a variabilidad ni dominancia de arvenses.

Tabla 4.4.3. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 2 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Yeros)

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2006-2007									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Yeros/ Subp.2	<i>Sinapis arvensis</i>	13,4	16,6	16,2	15,4	19,8	17,2	18,8	18,6
	<i>Polygonum aviculare</i>	11,0	20,1	16,1	15,7	8,0	15,3	11,2	11,5
	<i>Papaver rhoeas</i>	10,6	14,2	15,7	13,5	19,9	20,0	26,6	22,2
	<i>Chenopodium album</i>	0,8	1,3	1,1	1,1				
	<i>Hypocoum imberbe</i>	33,2	21,4	22,6	25,7	13,0	10,9	15,2	13,0
	<i>Anthemis arvensis</i>	11,4	13,5	10,0	11,6	14,8	16,7	8,6	13,4
	<i>Avena fatua</i>	3,3	2,2	4,0	3,2	9,7	9,1	5,2	8,0
	<i>Fumaria officinalis</i>			0,9	0,3				
	<i>Galium aparine</i>	3,3	2,5	3,8	3,2	5,7	1,8	3,1	3,5
	<i>Cirsium arvense</i>		0,6		0,2				
	<i>Veronica hederifolia</i>	1,0	0,6	0,3	0,6				
	<i>Malva rotundifolia</i>	0,2			0,1				
	<i>Hordeum vulgare</i>	0,7		0,4	0,4				
	<i>Lactuca serriola</i>	1,4	0,8	0,3	0,8	0,7	0,3	0,6	0,6
	<i>Rohemeria hibrida</i>	1,3	1,3	1,5	1,3	1,1	1,4	1,2	1,2
	<i>Lolium rigidum</i>	0,7	0,9	0,3	0,6	0,0	0,8	1,1	0,6
	<i>Descurainia sophia</i>	2,3	0,6	0,8	1,3				
	<i>Fumaria sp</i>	5,4	3,6	6,1	5,0				
	<i>Vaccaria hispanica</i>					2,7	0,4	1,7	1,6
	<i>Buglossoides arvensis</i>					1,4	0,7	1,2	1,1
<i>Trigonella polyceratia</i>					0,3	1,2	1,6	1,0	
<i>Lathyrus sp</i>						0,4	0,3	0,2	
<i>Avena sativa</i>							1,9	0,6	
<i>Vicia sativa</i>					2,8	3,8	1,5	2,7	

En el muestreo de febrero de 2007-08, con cultivo de cebada, hay una fuerte caída de la variabilidad de arvenses, con solo 7 especies entre las que dominan *H. imberbe*, *S. arvensis* y *Galium aparine* (Tabla 4.4.4). No se aprecian diferencias entre las distintas técnicas de siembra. En junio se encontraron 9 especies, con predominio, aunque no dominancia clara, de *G. aparine*, *A. arvensis*, *P. roheas* y *Avena fatua*, una fuerte disminución de *S. arvensis* y la desaparición de *V. hederifolia* e *H. imberbe* (Figuras 4.4.3 y 4.4.4). En este segundo año se aprecian diferencias en la presencia de algunas

Capítulo 4. Resultados y discusión

de las especies dominantes en las parcelas con distintas técnicas de siembra, pero no se puede sacar consecuencias debido a su carácter puntual.

Tabla 4.4.4. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 2 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Cebada).

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2007-2008										
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio				
		Técnica de siembra				Técnica de siembra				
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias	
Cebada / Subp. 2	<i>Sinapis arvensis</i>	29,8	33,5	34,4	32,5	4,3	4,8	1,1	3,4	
	<i>Papaver rhoeas</i>	1,2	6,4		2,5	12,7	20,4	14,7	15,9	
	<i>Hypocoum imberbe</i>	34,4	33,7	27,4	31,9			1,7	0,6	
	<i>Anthemis arvensis</i>	4,7	5,7	1,8	4,0	19,0	20,2	13,4	17,5	
	<i>Avena fatua</i>					13,5	18,7	29,0	20,4	
	<i>Galium aparine</i>	21,4	10,3	18,2	16,7	30,2	13,0	19,7	21,0	
	<i>Veronica hederifolia</i>	8,5	9,1	18,2	11,9					
	<i>Lactuca serriola</i>		1,3		0,4					
	<i>Lolium rigidum</i>					1,0	2,2		1,1	
	<i>Trigonella polyceratia</i>					1,2	6,8	4,4	4,1	
	<i>Vaccaria hispanica</i>					13,3	9,8	8,2	10,5	
	<i>Vicia ervilia</i>					4,7	4,2	7,9	5,6	

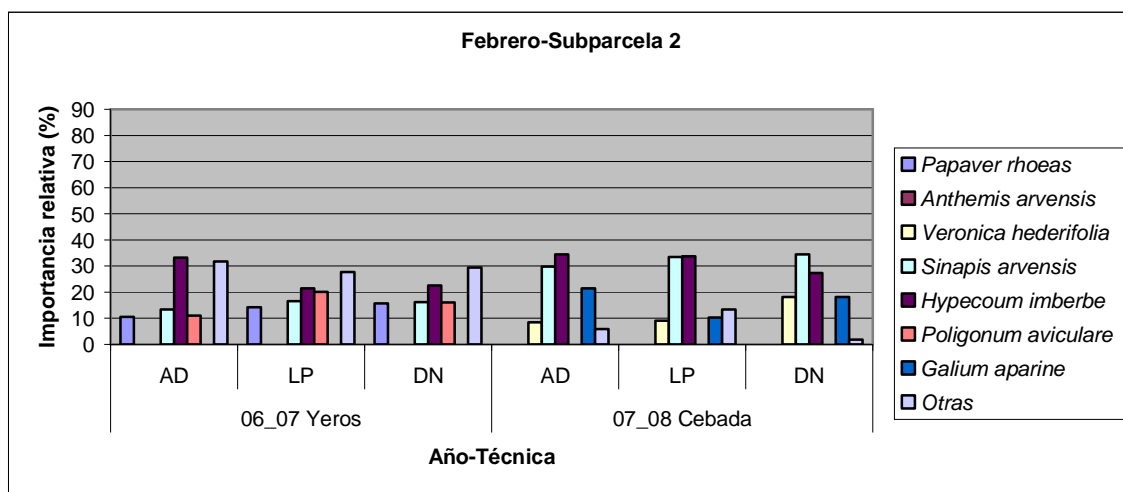


Figura 4.4.3. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 2 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.

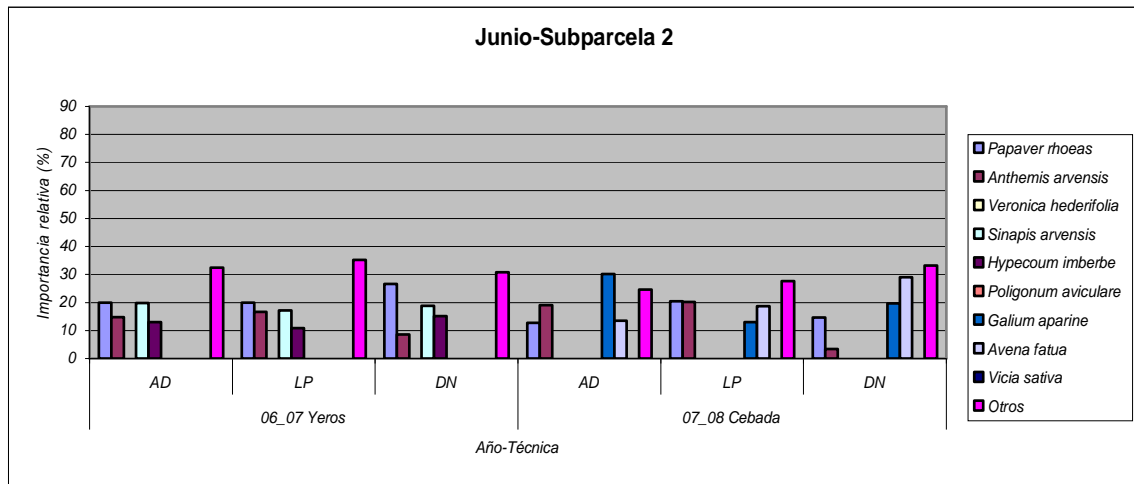


Figura 4.4.4. Valores del Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 2 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio

En la subparcela 3 en la campaña 2006-07 se sembró veza. En febrero se encontraron 20 especies arvenses y en junio 13. En ambos casos dominaron *P. roheas* y *A. arvensis* (Tabla 4.4.5), *H. imberbe* y *P. aviculare* tienen también importante presencia en ambas fechas.

Tabla 4.4.5. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 3 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007(Veza).

		Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2006-2007							
		Febrero				Junio			
Cultivo/Subparcela	Especie arvensis	Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Veza/ Subp.3	<i>Sinapis arvensis</i>	7,0	5,8	5,5	6,1	5,2	3,7	5,8	4,9
	<i>Polygonum aviculare</i>	12,2	12,5	12,9	12,5	2,7	8,8	6,7	6,1
	<i>Papaver rhoeas</i>	21,4	28,8	27,7	26,0	35,3	36,3	40,1	37,2
	<i>Hypocoum imberbe</i>	10,2	3,6	7,0	6,9	7,1	4,9	4,6	5,5
	<i>Anthemis arvensis</i>	29,2	29,1	26,6	28,3	36,7	35,3	32,9	35,0
	<i>Avena fatua</i>	1,6	2,0	2,1	1,9	1,4	3,0	0,7	1,7
	<i>Sonchus asper</i>	0,5			0,2				
	<i>Fumaria officinalis</i>	1,0		0,9	0,6				
	<i>Galium aparine</i>		0,4	0,7	0,4			0,7	0,2
	<i>Cirsium arvense</i>			0,5	0,2				
	<i>Veronica hederifolia</i>	2,2	2,0	2,4	2,2				
	<i>Hordeum vulgare</i>	8,0	7,8	7,9	7,9	4,4	4,2	1,9	3,5
	<i>Lactuca serriola</i>	0,4	0,7	1,1	0,7	0,5	0,0	0,6	0,4
	<i>Rohemeria hibrida</i>	3,8	2,2	2,3	2,8	1,8	0,5	2,0	1,4
	<i>Fumaria sp</i>	2,5	1,8	2,0	2,1				
	<i>Lolium rigidum</i>		1,5	0,5	0,7	4,1	3,4	1,4	2,9
	<i>Senecio vulgaris</i>		0,3		0,1			2,0	0,7
	<i>Salsola cali</i>		0,3		0,1				
	<i>Rumex crispus</i>		0,3		0,1				
	<i>Veronica polita</i>		0,6		0,2				
<i>Triticum aestivum</i>					0,9		0,7	0,5	

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.6. Valor Relativo de las Arvenses presentes en las parcelas del bloque 3 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Avena).

Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Avena/ Subp.3	<i>Sinapis arvensis</i>	21,0	19,4	20,2	20,2		3,2	1,9	2,6
	<i>Papaver rhoeas</i>	34,2	21,7	34,4	30,1	37,7	30,6	32,4	33,5
	<i>Hypecoum imberbe</i>	4,9	5,4	10,2	6,9		1,0		0,3
	<i>Anthemis arvensis</i>	18,9	21,6	8,1	16,2	32,7	38,4	33,2	35,8
	<i>Fumaria officinalis</i>		3,1	2,9	2,0				
	<i>Galium aparine</i>	6,5	2,2	3,4	4,0		1,0	1,9	1,0
	<i>V. hederifolia</i>	14,5	26,5	20,8	20,6				
	<i>Malva rotundifolia</i>					8,1			2,7
	<i>Hordeum vulgare</i>						11,3	14,9	8,7
	<i>Rohemeria híbrida</i>					12,3	1,0		4,4
	<i>Secale cereale</i>					4,8	8,0	10,5	7,8
	<i>Vicia sativa</i>					0,6	2,2	4,1	2,3
	<i>Lolium rigidum</i>						1,0	0,9	0,6
	<i>Descurainia sophia</i>					0,7			0,3
	<i>Trigonella polyceratia</i>						2,3		0,8
	<i>Rumex crispus</i>					0,7			0,3
	<i>Vaccaria hispanica</i>							0,7	0,3
	<i>Triticum aestivum</i>					1,4			0,5

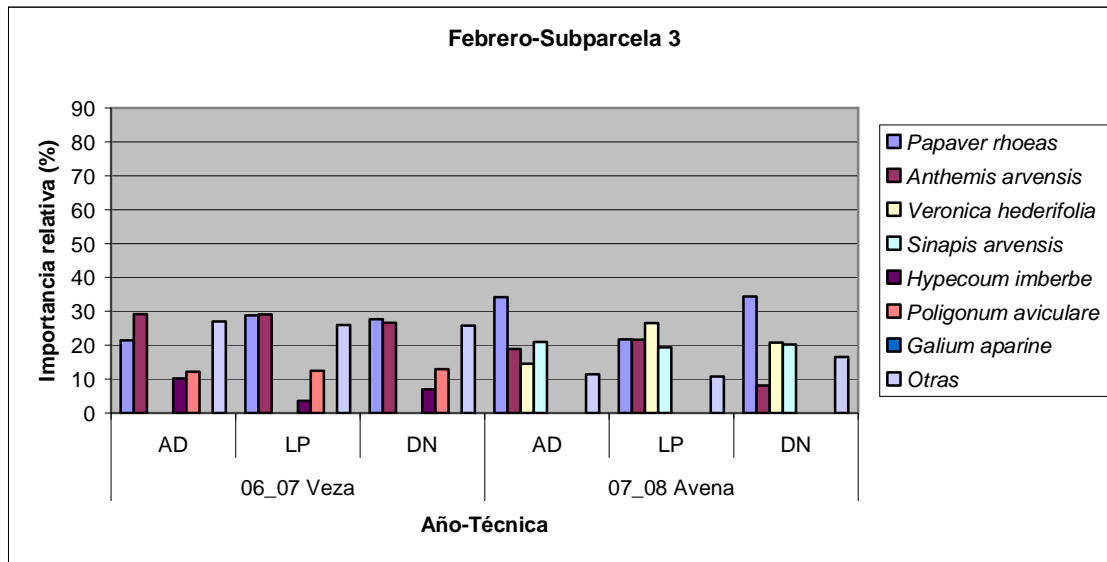


Figura 4.4.5. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 3 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.

En 2007-08, con avena sembrada de muestrearon 7 especies en febrero y 15 en junio (Tabla 4.4.6). Dominan en ambas fechas *P. roheas* y *A. arvensis* pero en junio casi desaparece *S. arvensis* que tenía una fuerte presencia en febrero. Tampoco aparecen en el segundo muestreo *H. imberbe* y *V. hederifolia*. En ningún caso se aprecian

diferencias consistentes de variabilidad o dominancia entre las distintas técnicas de cultivo.

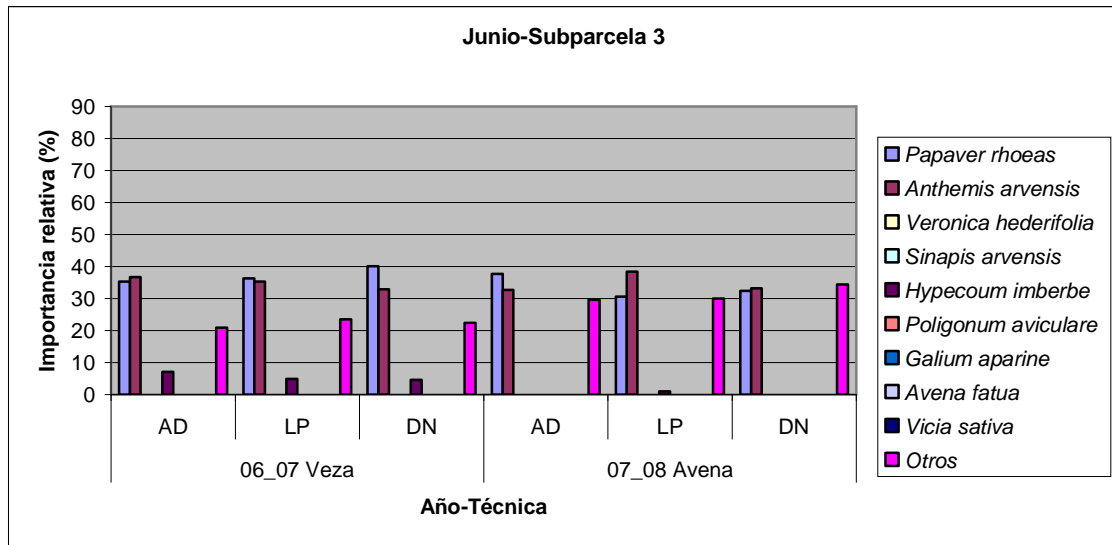


Figura 4.4.6. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 3 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.

En la subparcela 4 se cultiva avena en la campaña 2006-07, muestreándose 10 especies arvenses en febrero y 12 en junio. Gran dominancia de *P. roheas* tanto en febrero como en junio, seguida de lejos por *V. hederifolia* en febrero y *A. arvensis* en junio (Tabla 4.4.7). Una vez más *V. hederifolia* tiene presencia en febrero pero no en junio.

En 2007-08 con yeros sembrados se muestrearon 8 especies en febrero y 10 en junio (Tabla 4.4.8). En febrero domina fuertemente *V. hederifolia*, que desaparece en junio, en que la dominancia pasa a *P. roheas*. No se aprecian diferencias consistentes en la diversidad ni dominancia de las arvenses entre las distintas técnicas de siembra.

Tabla 4.4.7. Valor Relativo de las Arvenses presentes en las parcelas del bloque 4 según las técnicas de siembra en la campaña 2006-2007 (Avena).

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2006-2007									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Avena/Subp. 4	<i>Sinapis arvensis</i>	5,7	3,0	2,2	3,6			0,8	0,3
	<i>Polygonum aviculare</i>	0,6	3,2		1,3				
	<i>Papaver rhoeas</i>	59,2	57,1	57,6	58,0	68,8	63,2	65,2	65,8
	<i>Hypocoum imberbe</i>	6,4	5,4	1,8	4,5	7,6	4,0	4,1	5,2
	<i>Anthemis arvensis</i>	7,3	11,9	9,7	9,6	11,6	11,4	12,1	11,7
	<i>Galium aparine</i>	3,3	2,7	1,7	2,5	0,8	0,9	3,2	1,6
	<i>Veronica hederifolia</i>	9,7	5,3	16,8	10,6				
	<i>Lactuca serriola</i>	0,6	2,3	1,1	1,4		1,7	1,1	0,9

Capítulo 4. Resultados y discusión

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2006-2007									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
	<i>Rohemeria híbrida</i>	3,6	5,5	6,5	5,2	5,8	8,0	6,1	6,6
	<i>Fumaria sp</i>	3,6	3,7	2,6	3,3				
	<i>Secale cereale</i>					3,5	3,1	4,2	3,6
	<i>Lolium rigidum</i>						5,4	0,8	2,0
	<i>Trigonella polyceratia</i>						0,8		0,3
	<i>Descurainia sophia</i>					1,2			0,4
	<i>Vicia sativa</i>					0,8	0,8	1,2	0,9

Tabla 4.4.8. Valor Relativo de las Arvenses presentes en las parcelas del bloque 4 según las técnicas de siembra en la campaña 2007-2008 (Avena).

Valor de Importancia Relativa de Arvenses (%). 2007-2008									
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero				Junio			
		Técnica de siembra				Técnica de siembra			
		AD	LP	DN	Medias	AD	LP	DN	Medias
Yeros/ Subp. 4	<i>Sinapis arvensis</i>	8,4	12,1	4,3	8,3	8,2	4,5	4,7	5,8
	<i>Polygonum aviculare</i>	12,2	20,3	5,3	12,6	6,3		4,6	5,4
	<i>Papaver rhoeas</i>	16,4	17,9	11,4	15,3	48,9	46,0	52,8	49,2
	<i>Chenopodium album</i>					2,6			0,9
	<i>Hypocoum imberbe</i>	3,7	4,3	1,5	3,2				
	<i>Anthemis arvensis</i>	2,0		1,0	1,0	6,4	17,9	12,3	12,2
	<i>Avena fatua</i>					1,5	1,3	1,3	1,4
	<i>Fumaria officinalis</i>	1,4	9,2	8,2	6,3				
	<i>Galium aparine</i>	13,5	3,6	3,5	6,9		2,2	2,6	1,6
	<i>Veronica hederifolia</i>	42,3	32,6	64,8	46,6				
	<i>Hordeum vulgare</i>					1,9	1,9		1,3
	<i>Vicia sativa</i>					15,4	13,5	17,0	15,3
	<i>Lolium rigidum</i>					6,5	11,6	2,2	6,7
	<i>Vaccaria hispanica</i>					2,4	1,2	2,4	2,0

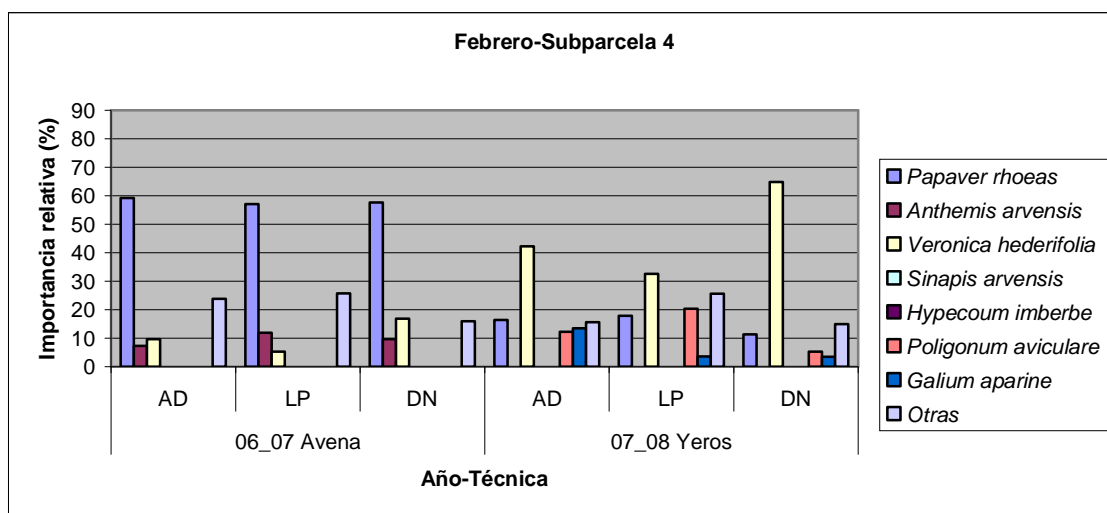


Figura 4.4.7. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 4 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de febrero.

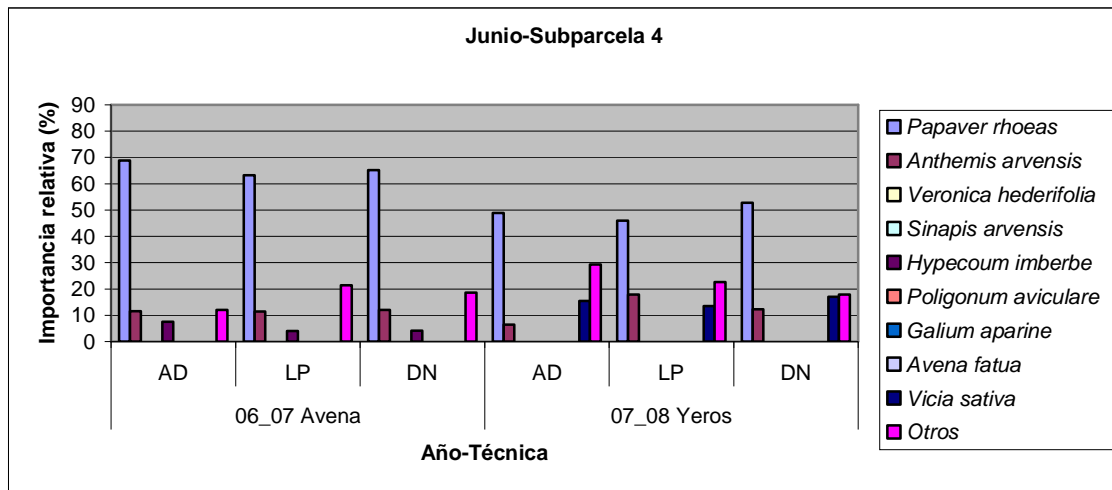


Figura 4.4.8. Índice de Importancia de las arvenses en la subparcela 4 durante las dos campañas y según técnicas de siembra. Muestreo de junio.

4.4.1.2. Análisis según variedades.

Distintas variedades de un cultivo pueden presentar diferente capacidad para competir con las arvenses en base a sus tasas de crecimiento su capacidad de ahijamiento o su patrón de expansión foliar (Zaragoza y Cirujeda, 2004) o por su diferente interacción alelopática (Seal *et al.*, 2005). Las variedades puestas a prueba en este ensayo no fueron seleccionadas previamente por sus posibles características competitivas con las arvenses, sino por cualidades globales de productividad y rusticidad. Aun así, y dado que se realizaron exhaustivos análisis de arvenses para correlacionarlos con las técnicas de cultivo, se obtuvieron los resultados que se exponen a continuación.

Se han encontrado algunas diferencias en los valores de importancia de algunas especies presentes en cebada y veza. Por ejemplo, las poblaciones de *Sinapis arvensis* y *Polygonum aviculare* son superiores en la variedad Garbo de cebada que en Hispanic y Volley en 2006-2007 (Tabla 4.4.9), o las poblaciones de *S. arvensis* son superiores en las parcelas sembradas con la variedad Amethyste de veza pero solo en 2007-2008 (Tabla 4.4.10), por lo que dichas tendencias no son consistentes. Si parecen consistentes, sin embargo, los resultados correspondientes a *P. roheas* en cebada, ya que en los cuatro muestreos de las dos campañas presenta valores claramente inferiores en las parcelas cultivadas con la variedad Garbo (Tablas 4.4.9 y 4.4.12), y dado que *P. roheas* es una de las habituales arvenses dominantes en estos agrosistemas, puede resultar de interés en cuanto al uso de esta variedad tanto en régimen ecológico como convencional.

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.9. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 1 según las variedades en la campaña 2006-2007

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2006-2007							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad					
		Garbo	Hispanic	Volley	Garbo	Hispanic	Volley
Cebada/ Subp. 1	<i>Sinapis arvensis</i>	19,0	8,6	7,0	16,2	5,0	6,0
	<i>Polygonum aviculare</i>	39,1			24,3	9,2	
	<i>Papaver rhoeas</i>	20,3	61,2	60,9	44,3	67,0	72,6
	<i>Chenopodium album</i>	4,5			3,9		
	<i>Hypocoum imberbe</i>	9,5	13,3	7,5	7,7	8,9	10,1
	<i>Anthemis arvensis</i>	2,9	4,0	5,5	1,3	7,1	6,4
	<i>Avena fatua</i>					0,6	
	<i>Sonchus asper</i>	1,3			0,7		
	<i>Galium aparine</i>			0,4			0,9
	<i>Cirsium arvense</i>			0,5		1,5	0,8
	<i>Veronica hederifolia</i>	0,9	7,2	7,3			
	<i>Malva rotundifolia</i>		1,7	0,4			
	<i>Lactuca serriola</i>	0,5	0,6	2,3	0,0	0,7	
	<i>Rohemeria hibrida</i>	2,1	2,1	5,9	1,6	0,0	2,4
	<i>Descurainia sophia</i>		0,7	0,4			
	<i>Lamium amplexicaule</i>		0,5	0,4			
	<i>Fumaria sp</i>	0,5		0,6			
	<i>Veronica polita</i>			0,4			
	<i>Salsola cali</i>			0,4			
	<i>Vicia ervilia</i>						0,8

Tabla 4.4.10. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 1 según las variedades en la campaña 2007-2008

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2007-2008							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad					
		Aitana	Amethyste	Senda	Aitana	Amethyste	Senda
Veza / Subp. 1	<i>Sinapis arvensis</i>	66,7	54,5	53,1	2,4	23,0	6,6
	<i>Papaver rhoeas</i>	10,4	25,0	17,3	84,3	66,1	86,8
	<i>Hypocoum imberbe</i>	8,2	1,2	2,6			
	<i>Anthemis arvensis</i>				13,3	10,9	6,6
	<i>Fumaria officinalis</i>	3,3	2,3				
	<i>Galium aparine</i>		1,0				
	<i>Veronica hederifolia</i>	11,4	16,1	27,0			

Tabla 4.4.11. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 2 según las variedades en la campaña 2006-2007.

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2006-2007							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Campuzano	Del País	Torozos	Campuzano	Del País	Torozos
Yeros/ Subp. 2	<i>Sinapis arvensis</i>	17,3	16,0	13,1	17,4	17,6	20,8
	<i>Polygonum aviculare</i>	15,4	17,7	15,1	12,2	12,4	9,9
	<i>Papaver rhoeas</i>	12,0	11,0	17,6	17,3	21,4	27,8
	<i>Chenopodium album</i>	2,2		1,1			
	<i>Hypocoum imberbe</i>	25,2	33,2	20,1	12,6	17,6	8,9
	<i>Anthemis arvensis</i>	10,8	10,2	13,9	13,3	12,4	14,4
	<i>Avena fatua</i>	4,1	1,9	3,6	12,9	7,9	3,3
	<i>Fumaria officinalis</i>	0,3	0,6				
	<i>Galium aparine</i>	4,2	2,9	2,9	5,4	1,6	3,6
	<i>Cirsium arvense</i>		0,4	0,3			
	<i>Malva rotundifolia</i>			0,2			
	<i>Hordeum vulgare</i>			1,2			
	<i>Lactuca serriola</i>	1,4	0,9	0,2	0,3	1,0	0,4
	<i>Roemeria hibrida</i>	2,5	0,7	0,9	1,5	0,7	1,5
	<i>Lolium rigidum</i>	0,3		1,7	1,1	0,0	0,7
	<i>Descurainia sophia</i>	1,8		2,1			
	<i>Fumaria sp</i>	5,4	5,2	4,8			
	<i>Vaccaria hispanica</i>				1,4	2,2	1,3
	<i>Buglossoides arvensis</i>				1,2	1,8	0,3
	<i>Trigonella polyceratia</i>				2,0	1,1	
<i>Lathyrus sp</i>				0,7			
<i>Avena sativa</i>					1,9		
<i>Vicia sativa</i>				0,7	0,5	7,0	

Tabla 4.4.12. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 2 según las variedades en la campaña 2007-2008

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2007-2008							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Garbo	Hispanic	Volley	Garbo	Hispanic	Volley
Cebada/ Subp. 2	<i>Sinapis arvensis</i>	33,0	26,5	38,0	1,4	8,8	
	<i>Papaver rhoeas</i>		3,6	4,0	5,2	25,2	17,4
	<i>Hypocoum imberbe</i>	30,6	25,5	37,6			1,7
	<i>Anthemis arvensis</i>	2,0	7,0	3,2	19,9	8,1	24,6
	<i>Avena fatua</i>				22,2	20,3	18,7
	<i>Galium aparine</i>	27,6	17,6	8,4	34,2	13,3	15,5
	<i>Veronica hederifolia</i>	6,7	18,5	8,8			
	<i>Lactuca serriola</i>		3,9				
	<i>Lolium rigidum</i>					1,0	2,2
	<i>Trigonella polyceratia</i>					4,9	7,4
	<i>Vaccaria hispanica</i>				9,0	15,4	6,9
	<i>Vicia ervilia</i>				8,1	2,9	5,7

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.13. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 3 según las variedades en la campaña 2006-2007.

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2006-2007							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Aitana	Amethyste	Senda	Aitana	Amethyste	Senda
Veza/ Subp. 3	<i>Sinapis arvensis</i>	7,2	4,5	6,5	5,1	3,5	6,1
	<i>Polygonum aviculare</i>	15,3	3,3	19,0	12,9	0,0	5,4
	<i>Papaver rhoeas</i>	25,4	33,4	19,1	44,3	35,1	32,2
	<i>Hypocoum imberbe</i>	9,1	8,3	3,4	5,1	2,4	9,0
	<i>Anthemis arvensis</i>	24,0	28,8	32,1	22,8	45,0	37,2
	<i>Avena fatua</i>	2,4	3,4		2,1	2,3	0,7
	<i>Sonchus asper</i>	0,5					
	<i>Fumaria officinalis</i>		0,9	1,0			
	<i>Galium aparine</i>	1,1				0,7	
	<i>Cirsium arvense</i>			0,5			
	<i>Veronica hederifolia</i>	1,9	3,9	0,8			
	<i>Hordeum vulgare</i>	6,3	4,8	12,7	0,6	3,9	6,0
	<i>Lactuca serriola</i>	1,1	0,4	0,8	1,1		
	<i>Rohemeria hibrida</i>	2,4	3,5	2,4	1,5	1,5	1,3
	<i>Fumaria sp</i>	2,1	2,4	1,8			
	<i>Lolium rigidum</i>	1,2	0,8		2,5	4,2	2,1
	<i>Senecio vulgaris</i>		0,3		2,0		
	<i>Salsola cali</i>		0,3				
	<i>Rumex crispus</i>		0,3				
	<i>Veronica polita</i>		0,6				
<i>Triticum aestivum</i>					1,6		

Tabla 4.4.14. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela las parcelas del bloque 3 según las variedades en la campaña 2007-2008.

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%), 2007-2008							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Byzantina	Chapline	Fringante	Byzantina	Chapline	Fringante
Avena/ Subp. 3	<i>Sinapis arvensis</i>	19,5	21,0	19,7	1,2	3,9	1,4
	<i>Papaver rhoeas</i>	33,6	32,7	21,4	31,3	42,4	27,0
	<i>Hypocoum imberbe</i>	6,1	5,5	7,8		1,0	
	<i>Anthemis arvensis</i>	16,1	13,4	13,3	32,8	43,3	28,2
	<i>Fumaria officinalis</i>	4,3		4,5			
	<i>Galium aparine</i>		3,3	9,4		0,9	2,0
	<i>Veronica hederifolia</i>	20,4	24,0	23,9			
	<i>Hordeum vulgare</i>				1,6	1,3	31,4
	<i>Rohemeria híbrida</i>					1,0	
	<i>Secale cereale</i>				28,8		1,9
	<i>Vicia sativa</i>				1,1	5,4	4,6
	<i>Lolium rigidum</i>				2,5		
	<i>Trigonella polyceratia</i>				1,0		3,8

Tabla 4.4.15. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela 4 según las variedades en la campaña 2006-2007.

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%), 2006-2007							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Byzantina	Chapline	Fringante	Byzantina	Chapline	Fringante*
Avena/ Subp. 4	<i>Sinapis arvensis</i>	2,1	5,4	3,4	0,5		-
	<i>Polygonum aviculare</i>		2,1	1,7			-
	<i>Papaver rhoeas</i>	59,3	60,8	56,5	60,0	69,8	-
	<i>Hypocoum imberbe</i>	5,8	3,4	4,4	4,4	6,4	-
	<i>Anthemis arvensis</i>	10,2	8,0	9,7	14,1	10,1	-
	<i>Galium aparine</i>	1,0		6,6	1,2	2,1	-
	<i>Veronica hederifolia</i>	10,9	11,1	9,8			-
	<i>Hordeum vulgare</i>				0,5		-
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>					0,8	-
	<i>Lactuca serriola</i>	1,7	1,5	0,9	0,6	1,3	-
	<i>Rohemeria hibrida</i>	6,9	3,5	4,2	7,2	6,7	-
	<i>Fumaria sp</i>	2,9	4,2	2,8			-
	<i>Secale cereale</i>				7,6		-
	<i>Lolium rigidum</i>				2,9	1,3	-
	<i>Trigonella polyceratia</i>				0,5		-
<i>Descurainia sophia</i>					0,8	-	
<i>Vicia sativa</i>				0,6	0,8	-	

Tabla 4.4.16. Valor Relativo de las Arvenses presentes en la subparcela las parcelas del bloque 4 según las variedades en la campaña 2007-2008

Valor de Importancia Relativa de arvenses (%). 2007-2008							
Cultivo/ Subparcela	Especie arvense	Febrero			Junio		
		Variedad			Variedad		
		Campuzano	Del País	Torozos	Campuzano	Del País	Torozos
Yeros/ Subp. 4	<i>Sinapis arvensis</i>	9,9	4,1	10,7	4,4	9,6	3,5
	<i>Polygonum aviculare</i>	11,4	14,1	12,3	1,4	1,2	8,3
	<i>Papaver rhoeas</i>	16,5	18,6	10,7	58,9	41,2	47,4
	<i>Chenopodium album</i>				1,4		1,1
	<i>Hypocoum imberbe</i>	1,5	5,0	3,1			
	<i>Anthemis arvensis</i>	1,0	2,0		10,2	17,5	8,9
	<i>Avena fatua</i>				1,3	2,8	
	<i>Fumaria officinalis</i>	5,7	6,1	7,1			
	<i>Galium aparine</i>	11,9	0,0	8,6	4,8		
	<i>Veronica hederifolia</i>	42,0	50,1	47,6			
	<i>Hordeum vulgare</i>					1,9	1,9
	<i>Vicia sativa</i>				13,8	14,4	17,8
	<i>Lolium rigidum</i>				3,9	6,6	9,7
<i>Vaccaria hispanica</i>					4,7	1,3	

4.4.1.3. Resumen del análisis cualitativo de arvenses.

Las abundancias específicas y dominancias se resumen en la tabla 4.4.17.

Tabla 4.4.17. Resumen del nº de especies y dominancias obtenidas en el análisis cualitativo de arvenses. Se presentan, para cada subparcela, cultivo y campaña los valores de abundancia específica, las especies principales y el índice de importancia de la especie dominante.

Subparcela	Campaña	Cultivo	Especies dominantes (Ind. import. relat.)	
			Febrero	Junio
Subparcela 1	2006-07	Cebada	(18) <i>P.roheas</i> (47,3%)	(13) <i>P.roheas</i> (61,5%)
	2007-08	Veza	(6) <i>S. arvensis</i> (58,1%)	(3) <i>P.roheas</i> (79,1%)
Subparcela 2	2006-07	Yeros	(18) <i>H. imberbe</i> (25,3%) <i>S.arvensis</i> <i>P.aviculare</i>	(16) <i>P.roheas</i> (22,2%) <i>S.arvensis</i> <i>H. imberbe</i>
	2007-08	Cebada	(7) <i>S.arvensis</i> (32,5%) <i>H.imberbe</i> , <i>G.aparine</i>	(9) <i>A.sativa</i> (21,0%) <i>G.aparine</i> , <i>A.arvensis</i>
Subparcela 3	2006-07	Veza	(20) <i>A.arvensis</i> (28,3%) <i>P.roheas</i>	(13) <i>P.roheas</i> (37,2) <i>A.arvensis</i>
	2007-08	Avena	(7) <i>P.roheas</i> (30,1%) <i>V.hederifolia</i>	(15) <i>A.arvensis</i> (30,5%) <i>P.roheas</i>
Subparcela 4	2006-07	Avena	(10) <i>P.roheas</i> (58,0%)	(12) <i>P.roheas</i> (65,0%)
	2007-08	Yeros	(8) <i>V.hederifolia</i> (46,6%)	(10) <i>P.roheas</i> (49,2%)

La distribución de especies en el espacio y en el tiempo puede estar condicionada por numerosos factores entre los que destacan los siguientes:

- Ciclo. Según su momento de germinación, y duración del periodo vegetativo las especies van a estar presentes en periodos determinados y por tanto, van a afectar a los cultivos de forma distinta en su competencia por los nutrientes, el agua y la luz.
- Meteorología. En un clima cuyas precipitaciones y temperaturas presentan unas distribuciones mensuales e interanuales tan irregulares e imprevisibles, las distintas especies verán más o menos favorecido su desarrollo en función de sus distintas aptitudes y capacidad de resistencia a las adversidades.
- Banco de semillas. La acumulación diferencial de semillas en determinadas zonas de la parcela provoca la aparición de corros en una tendencia que tiende a reforzarse.
- Cultivo. Las características morfológicas, fenológicas y alelopáticas de los diferentes cultivos pueden favorecer o perjudicar en diverso grado a las distintas especies arvenses potencialmente presentes.

- Muestreo. En situaciones de arvenses disminuye la probabilidad de incluir en los muestreos las especies escasamente representadas, y con ello la variabilidad total de la muestra.

A continuación se revisan las seis especies con mayor presencia en los muestreos realizados tratando de resumir su comportamiento y asociarlo a alguno de los factores condicionantes mencionados más arriba.

Papaver roheas. Es la especie más notoria. En la subparcela 1 domina en junio tanto con cebada (06-07) como con veza (07-08). En febrero domina con cebada, pero con veza domina *Sinapis arvensis*. Hay pues un cambio en la dominancia de febrero a junio que es atribuible al **efecto del cultivo**: la veza controla mejor a *S. arvensis* que a *P. roheas* que, por tanto, resulta favorecida de forma indirecta. En la subparcela 2, con yeros (06-07) y cebada (07-08) domina solamente en junio con los yeros, pero incluso en este caso su presencia es discreta porque los efectivos están muy repartidos con otras especies como *S. arvensis* e *Hypocoum imberbe*, cuyas superiores abundancias en esta subparcela pueden ser atribuidas al **efecto del banco de semillas**. En la subparcela 3 con veza (06-07) y avena (07-08), comparte dominancia con *Anthemis arvensis*. Finalmente, en la subparcela 4, con avena (06-07) y yeros (07-08) domina con claridad el primer año mientras que con los yeros domina *Verónica hederifolia* en febrero que cede el puesto a *P. roheas* en junio por **efecto del ciclo** corto de *V. hederifolia*.

Anthemis arvensis. En la subparcela 1 (cebada-veza) solo una escasa presencia con veza en junio. En la subparcela 2 (yeros-cebada), presencia moderada en junio de ambas campañas. En la subparcela 3 (veza-avena) presencia abundante en los dos cultivos. En la subparcela 4 (avena-yeros) presencia escasa excepto en febrero con avena. Esta irregular distribución en las subparcelas dado que afecta a parejas de cultivos parece atribuible al **efecto del banco de semillas**.

Verónica hederifolia. Presencia, e incluso dominancia en las subparcelas 3 y 4 pero solo en los muestreos de febrero. En junio no aparece. Este es el caso más claro de **influencia del ciclo** temprano y corto. También es notable el comportamiento interanual. El primer año su presencia es casi nula en las subparcelas 1,2 y 3 y discreta en la 4. El segundo año su presencia es moderada en las subparcelas 1, 2 y 3 y dominante en la 4 (siempre en febrero). Este comportamiento es claramente atribuible a **la meteorología**, ya que se repite con todos los cultivos. Dicha influencia

Capítulo 4. Resultados y discusión

climática puede haberse producido de forma directa, es decir, porque la distribución de pluviometría y temperatura de 2007-08 favoreció la competitividad de *V. hederifolia*, o bien de forma indirecta, es decir, que en 2006-07 el clima favoreciera al resto de las especies más que a esta especie, lo que es menos probable.

Polygonum aviculare. Tiene la peculiaridad de que es una arvense relativamente abundante en el primer año pero muy escasa en el segundo lo que puede ser atribuido a la **meteorología** y a los medios de laboreo preventivo usados en la segunda campaña (falsas siembras).

Sinapis arvensis. En la subparcelas 1, 2 y 3 presenta un fuerte aumento en febrero del segundo año, llegando a ser dominante en la 1. En todos estos casos resulta fuertemente controlada por **los cultivos** lo que se refleja en una escasa presencia en junio. En la subparcela 4 su presencia es menor, aunque el efecto controlador del cultivo se repite.

Hypocoum imberbe. El primer año aparece en los muestreos de febrero y junio de las cuatro subparcelas, llegando a ser dominante en febrero en la 2. La presencia en junio es inferior. En 2007-08 su presencia baja en febrero y casi desaparece en junio. Esta es una especie de **ciclo temprano y corto**, aunque no tanto como *V. hederifolia*. Su presencia en los muestreos de junio del primer año puede explicarse por un desfase de diez días en las fechas de muestreo.

Las tendencias generales observadas son las siguientes.

- La menor variabilidad que en general se aprecia la segunda campaña se atribuye a la menor densidad de arvenses y al consiguiente **efecto de muestreo**, pues las especies escasas pueden ser fácilmente no detectadas si el número de individuos descende drásticamente en todas las especies, como es el caso.
- La dominancia de *Papaver rhoeas* es casi general en junio mientras que en febrero presenta más alternancia con especies de ciclo más corto como *H.imberbe* y *V.hederifolia* que a menudo no aparecen en los muestreos de junio
- Las variaciones en la especie dominante y en la equitabilidad (la homogeneidad en el reparto de efectivos entre las especies presentes) aparecen más asociados a las subparcelas que a los cultivos, es decir, que tiene más influencia la inercia del banco de semillas del suelo que los efectos fitosociológicos, que aparentemente influyen muy poco en ambos parámetros.

- La estructura de la comunidad arvense no presenta diferencias que puedan ser atribuidas de forma consistente a las distintas técnicas de siembra.
- Se observa una menor dominancia de la amapola (*P.roheas*) en las parcelas sembradas con cebada de la variedad Garbo.

4.4.2 Análisis cuantitativo de arvenses

Los resultados de la densidad y biomasa de arvenses se han sometido a análisis de la varianza. En primer lugar se exponen los ANOVA globales tanto interanuales como entre cultivos para cada uno de los dos muestreos (Tablas 4.4.18 y 4.4.19) junto a los valores medios por año y por cultivo (Tabla 4.4.20). Más adelante se presentan los ANOVA por cada cultivo para analizar el efecto del año, la variedad y la técnica de siembra (Tablas 4.4.21 a 4.4.28), agrupando los valores medios mediante el test de Tukey

Tabla 4.4.18. ANOVA para la densidad y biomasa de arvenses en **febrero** en cuatro cultivos y dos años del ensayo. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	DENSIDAD		BIOMASA	
	Valor de F	p	Valor de F	p
Año	313,157	<0,001***	154,838	<0,001***
Cultivo	72,951	<0,001***	17,457	<0,001***
Cultivo * Año	92,245	<0,001***	17,843	<0,001***

Tabla 4.4.19. ANOVA para la densidad y biomasa de arvenses en **junio** en cuatro cultivos y dos años del ensayo. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	DENSIDAD		BIOMASA	
	Valor de F	p	Valor de F	p
Año	242,918	<0,001***	127,930	<0,001***
Cultivo	77,076	<0,001***	27,363	<0,001***
Cultivo * Año	58,094	<0,001***	6,255	<0,001***

Se han encontrado diferencias estadísticamente muy significativas entre los valores medios de densidad y biomasa de arvenses tanto en los muestreos de febrero como en los de junio para el año, el cultivo y la interacción entre ambos (Tablas 4.4.18 y 4.4.19).

Existen grandes diferencias interanuales tanto entre los muestreos de febrero como en los de junio. La campaña 2006-2007 fue mucho más propensa a las arvenses que la 2007-08, en los muestreos de febrero el valor medio de las densidades de plantas pasa de 305 plantas por metro cuadrado a tan solo 64, descendiendo el de biomasa de 47 a 2 g por metro cuadrado, y en los muestreos de junio las medias pasan de 124 a 45 plantas por metro cuadrado y de 108 a 37 gramos por metro cuadrado respectivamente.

Capítulo 4. Resultados y discusión

Estas fuertes diferencias pueden encontrarse también en ensayos realizados en condiciones climáticas diferentes (Rasmussen *et al.*, 2006) o similares a las nuestras (Derksen *et al.*, 2002; Lacasta *et al.*, 2004). Derksen -grandes planicies norteamericanas, precipitación media 450 mm anuales- encuentra que los cambios anuales en las precipitaciones modifican el patrón de densidades de arvenses en distintos sistemas de laboreo. La siembra directa, que con precipitaciones medias tiene menos arvenses que el laboreo convencional, tras varios secos pasan a ser las más infesadas, lo cual explica por la permanencia de las semillas acumuladas de más de una campaña sin germinar. Lacasta *et al.*, (2004) por su parte encuentra que tras años secos se produce una disminución de arvenses, explicable porque en su caso incluso las arvenses se han visto perjudicadas por el periodo seco. Este último autor encuentra que tras un verano húmedo, en los ambientes semiáridos aumentan las arvenses pues la humedad adelanta la mineralización y éstas disponen de nutrientes sin competencia con los cultivos, sin embargo, cuando los veranos son secos, que es lo normal en estos climas, la mineralización se produce principalmente en primavera. En nuestro ensayo la campaña 2005-06, precedente a la primera considerada, tuvo una primavera relativamente húmeda pero el 4 de mayo dejó de llover hasta el 12 de junio, condiciones que perjudicaron severamente a los cultivos pero permitieron la floración y formación de semilla de la mayor parte de las arvenses. La segunda mitad de junio fué muy húmeda, julio se situó en la media, agosto fué muy seco y septiembre de nuevo más húmedo de lo normal. Si Lacasta observa de una forma general que los veranos húmedos de climas semiáridos favorecen la mineralización, Wild (1992) especifica que los ciclos de humedad-sequedad la aceleran especialmente, y tanto más cuanto más intensos y cortos.

Así pues, la especial abundancia de arvenses observada en la primera campaña de nuestro ensayo parece obedecer a una notable confluencia de factores. Por un lado, las peculiares condiciones de sequedad del año perjudicaron a los cultivos pero no impidieron en la misma medida el crecimiento y formación de semillas de las arvenses. Por otro lado, la humedad veraniega general resulta acorde con la segunda observación de Lacasta de que aumentan las arvenses porque disponen de nutrientes que una mineralización adelantada de los restos de cosecha pone a su disposición sin tener que competir con los cultivos. Y por último, la fuerte sequedad de agosto, lejos de debilitar este argumento, lo refuerza, ya que, según Wild, la rápida alternancia humedad sequedad estimula la mineralización.

Resulta de igual modo relevante que el segundo año las arvenses bajaran drásticamente su presencia aplicando exclusivamente los sistemas de control propios de la Agricultura Ecológica, en este caso las rotaciones y las *falsas siembras* (Zaragoza y Cirujeda 2004), consistentes en preparar el lecho de siembra, no sembrar y eliminar mediante un pase superficial los brotes de arvenses, repitiendo la operación, si es necesario, dos o tres veces. En nuestro caso se retrasó la siembra hasta el mes de diciembre y se dieron dos pases de cultivador adicionales a los dos iniciales de rutina.

Por tratamientos, los valores medios anuales de densidad en los muestreos de junio de nuestros ensayos se sitúan en un intervalo de entre 16 y 211 plantas por metro cuadrado, y los de biomasa de entre 6,9 y 228 gramos de materia seca por metro cuadrado. Los valores obtenidos por otros autores en ensayos de secano ecológico, son también muy variables y acordes con los obtenidos en este trabajo. Chao *et al.* (2002) en un ensayo de cebada ecológica en la submeseta sur ibérica obtienen valores medios de 33 gramos por metro cuadrado de biomasa de arvenses, y Lacasta *et al.* (2004) en el mismo ambiente, en un ensayo a 11 años en el que se comparan rotaciones y densidades de siembra obtienen densidades desde 10 a 477 plantas por metro cuadrado con fuertes variaciones interanuales. Por su parte, Mason *et al.* (2007a y b) en ensayos 29 variedades para estudiar su capacidad supresora de arvenses en secano canadiense en régimen ecológico, obtiene un intervalo de biomasa de arvenses entre 53 y 96 gamos por metro cuadrado. Rasmussen *et al.* (2006), en cereal de reciente conversión a ecológico en Dinamarca obtiene valores que varían de 15 a 34 gramos por metro cuadrado de biomasa arvense. Derksen *et al.* (2002) comparando laboreo convencional y no laboreo en las praderas cerealistas norteamericanas obtiene densidades de entre 90 y 350 plantas por metro cuadrado incluyendo el uso de herbicidas en pre y postemergencia.

En cuanto a la incidencia de arvenses en los diferentes cultivos (tabla 4.4.20), en febrero la avena fue la menos infestada tanto en densidad como en biomasa. En junio sin embargo la avena y yeros presentan los valores medios más elevados de infestación. En esta fecha, la cebada fue la más limpia, si bien la biomasa no difiere estadísticamente de las leguminosas (Tabla 4.4.20, Figuras 4.4.9 y 4.4.10).

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.20. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses por cultivos. Los valores seguidos por letras diferentes, difieren significativamente (Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

	Avena	Cebada	Veza	Yeros
Densidad febrero (pl/m ²)	85,22 ^a	131,14 ^b	132,44 ^b	301,03 ^c
Biomasa febrero (g/m ²)	3,13 ^a	19,58 ^c	15,53 ^{bc}	10,66 ^b
Densidad junio (pl/m ²)	116 ^c	27 ^a	74 ^b	116 ^c
Biomasa junio (g/m ²)	105 ^c	32 ^a	70 ^{ab}	73 ^{ab}

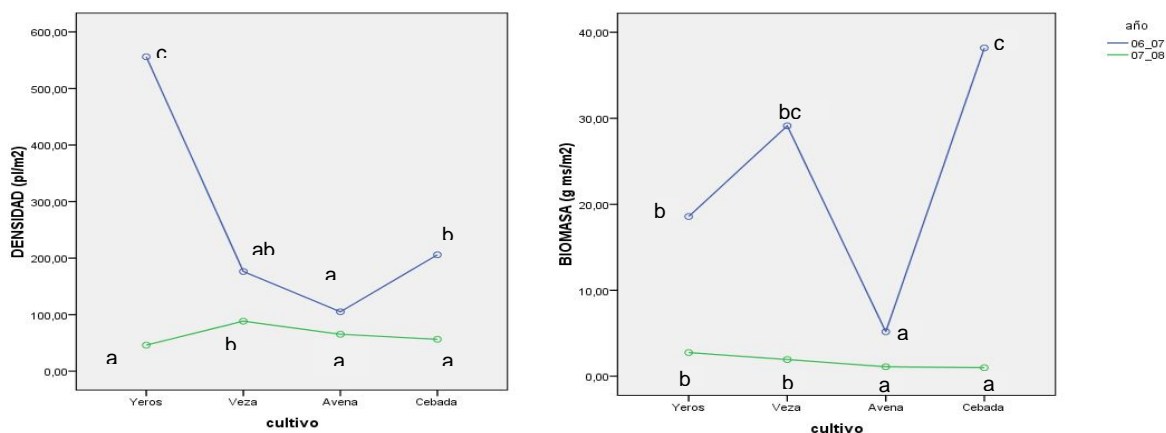


Figura 4.4.9 . Valores medios de densidad de arvenses en los muestreos de febrero. Los puntos de una línea acompañados de distinta letra presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $p \leq 0,05$).

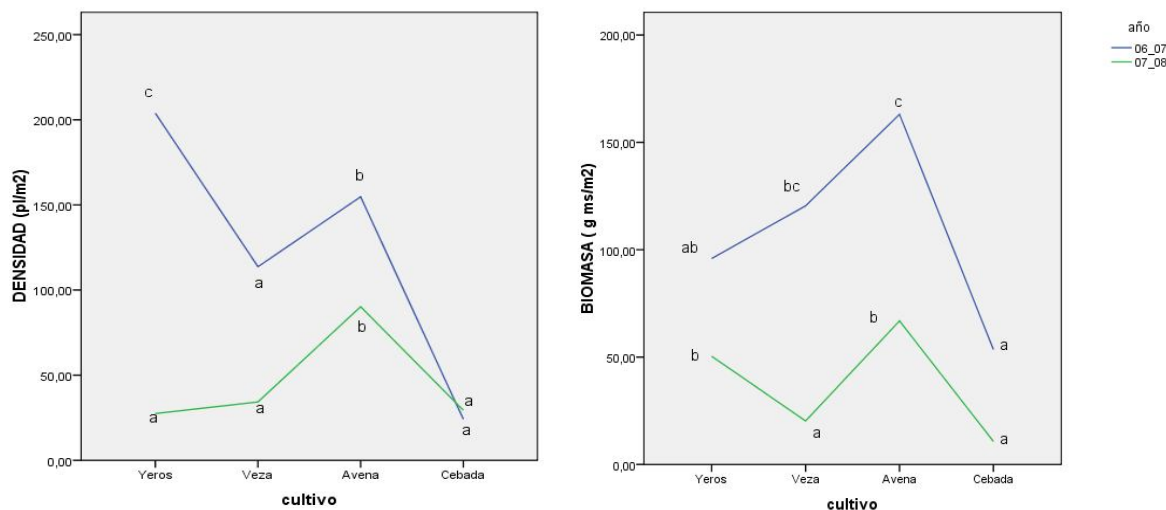


Figura 4.4.10 . Valores medios de densidad de arvenses en los muestreos de junio. Los puntos de una línea acompañados de distinta letra presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $p \leq 0,05$).

En las Figuras 4.4.9 y 4.4.10 se presenta la interacción entre cultivo y año en cuanto a la incidencia de arvenses. En el mes de febrero (Figura 4.4.9), durante la campaña 06-07 la densidad de arvenses en yeros se dispara y alcanza los valores máximos de todos los cultivos. Con la cebada sucede algo similar, pero el incremento significativo afecta de manera especial a la biomasa. En junio (Figura 4.4.10) la interacción cultivo por año

se mantiene en los yerros y se visualiza especialmente bien para el parámetro densidad de arvenses. Sin embargo la otra interacción entre año y cultivo mencionada para el mes de febrero, la que afecta a la cebada, desaparece en el mes de junio (Figura 4.4.9 y 4.4.10), lo que indica que el cultivo controla las arvenses, reduciendo la fuerte infestación de febrero.

A continuación se exponen los resultados pormenorizados del análisis de varianza para los parámetros densidad y biomasa de arvenses en cada cultivo.

4.4.2.1. Avena.

En avena (Tabla 4.4.21) hay diferencias significativas en la incidencia de arvenses, tanto en biomasa como en densidad, en febrero y en junio para el factor año, siguiendo la tónica general de mayor presencia de arvenses el primer año. Además hay diferencias significativas entre variedades, siendo también significativa la interacción entre año y variedad.

Tabla 4.4.21. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de **avena**. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

	Febrero				Junio			
	DENSIDAD		BIOMASA		DENSIDAD		BIOMASA	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	143,128	<0,001***	202,021	0,000***	28,165	<0,001***	44,691	<0,000***
Variedad	20,151	<0,001***	6,742	0,003**	6,053	0,004**	2,442	0,104
Técnica	2,981	0,056	3,483	0,041*	1,108	0,336	1,115	0,341
Año* variedad	19,068	<0,001***	6,840	0,003**	13,519	<0,001***	4,652	0,039*
Año* técnica	1,283	0,282	3,421	0,044*	1,871	0,161	1,284	0,292
Variedad * técnica	2,205	0,075	1,083	0,380	0,567	0,687	0,059	0,993
Año* variedad * técnica	1,175	0,327	1,131	0,357	0,146	0,865	1,592	0,220

En el conjunto de los dos años, es la variedad Bizantina la que registra mayor presencia de malas hierbas, tanto en el muestreo de febrero como en el de junio. Sin embargo, dichas diferencias se producen el primer año, pero no el segundo lo que se pone de manifiesto en una interacción estadística significativa entre variedad y año, por lo que se podría inferir que las condiciones climáticas del primer año fueron especialmente desfavorables para esta variedad en lo que se refiere a su capacidad para competir con las arvenses (tabla 4.4.25 y y Figura 4.4.11).

Capítulo 4. Resultados y discusión

Por otra parte, las diferencias entre técnicas de siembra son de escasa significación y poca consistencia.

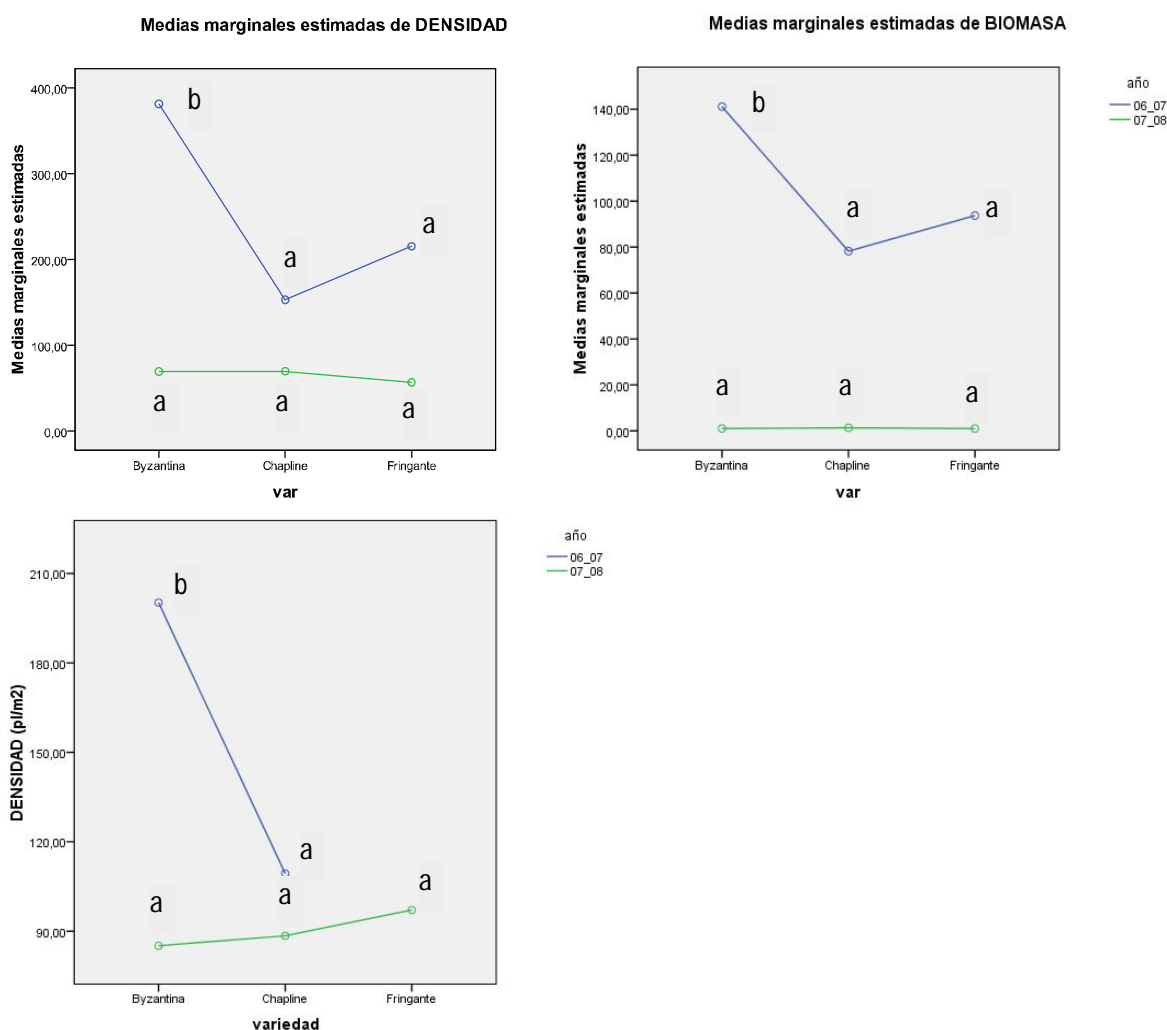


Figura 4.4.11. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres variedades de avena en los muestreos de febrero (arriba) y junio (abajo), en el que solo se presenta la densidad. Los puntos de una línea acompañados de distinta letra presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $p \leq 0,05$).

4.4.2.2. Cebada.

En cebada (tabla 4.4.22), existen diferencias significativas entre años para los muestreos de febrero y junio, aunque en junio solamente para el parámetro biomasa, siguiendo la tendencia general de mayor cantidad de malas hierbas el primer año. También hay diferencias significativas entre variedades para el parámetro biomasa en febrero y en junio, y entre técnicas para los parámetros biomasa en febrero y densidad en junio.

Resulta interesante que entre todos los cultivos fué la cebada el que mejor ejerció el control sobre las arvenses el primer año, lo que se pone de manifiesto en la gran diferencia entre las densidades de febrero y junio, destacando en este aspecto la variedad Garbo (Tabla 4.4.26). También resulta interesante que en el segundo año, partiendo de valores de densidad y biomasa muy inferiores en febrero, se obtuvieran en junio valores de densidad comparables a los del primero, lo que viene a suponer que, o bien en las condiciones del primer año la cebada resulta extraordinariamente competitiva entre febrero y junio y en las condiciones del segundo año menos, o bien que en las condiciones de los ensayos este cultivo presenta un límite de capacidad de supresión de arvenses en base al efecto limitante de los nutrientes, ya que, si se exceptúan los efectos alelopáticos, los cultivos basan su capacidad supresora en la creación de estructuras vegetativas que sofocan el desarrollo de las arvenses competidoras, y la dimensión de dichas estructuras depende entre otros factores de la disponibilidad de nutrientes. Meco *et al.* (2000), en ambientes semiáridos de la submeseta sur ibérica, observaron que en rotaciones fertilizadas con abono mineral se encontraban menos arvenses que en otras sin fertilizar, sin embargo, tanto ellos como Zaragoza *et al.* (1998) trabajando en siete ambientes diferentes de secano ibérico, comprobaron que si las densidades de arvenses eran bajas en general, las diferencias en densidad provocadas por la fertilización no se veían reflejadas en diferentes rendimientos.

Tabla 4.4.22. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de **cebada**. Significación: *p<0,05; **p<0,01 ; ***p<0,001

	Febrero				Junio			
	DENSIDAD		BIOMASA		DENSIDAD		BIOMASA	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	77,328	<0,001***	174,232	<0,001***	0,942	0,334	55,910	<0,001***
Variedad	0,825	0,441	9,143	0,001***	2,193	0,118	6,591	0,004**
Técnica	1,846	0,164	12,977	<0,001***	3,133	0,048*	,135	0,874
Año* variedad	0,164	0,849	9,230	0,001***	2,882	0,061	6,378	0,004**
Año* técnica	2,314	0,105	12,464	<0,001***	1,429	0,245	,442	0,646
Variedad * técnica	1,956	0,108	2,240	0,084	0,907	0,463	,600	0,665
Año* variedad * técnica	0,675	0,611	2,155	0,094	0,680	0,608	2,095	0,102

En el conjunto de los dos años, la variedad Garbo presenta la menor biomasa de arvenses, pero analizando los dos años por separado las diferencias que se acaban de mencionar solo se producen en la primera campaña, lo que se manifiesta en una interacción estadística variedad-año (Figura 4.4.12 y Tabla 4.4.26). Algo similar ocurre

Capítulo 4. Resultados y discusión

en lo referente a las técnicas, ya que en el cómputo global la biomasa de arvenses es superior para líneas pareadas en febrero, pero en el análisis anual dicha diferencia solo se produce el primer año (Tabla 4.4.26).

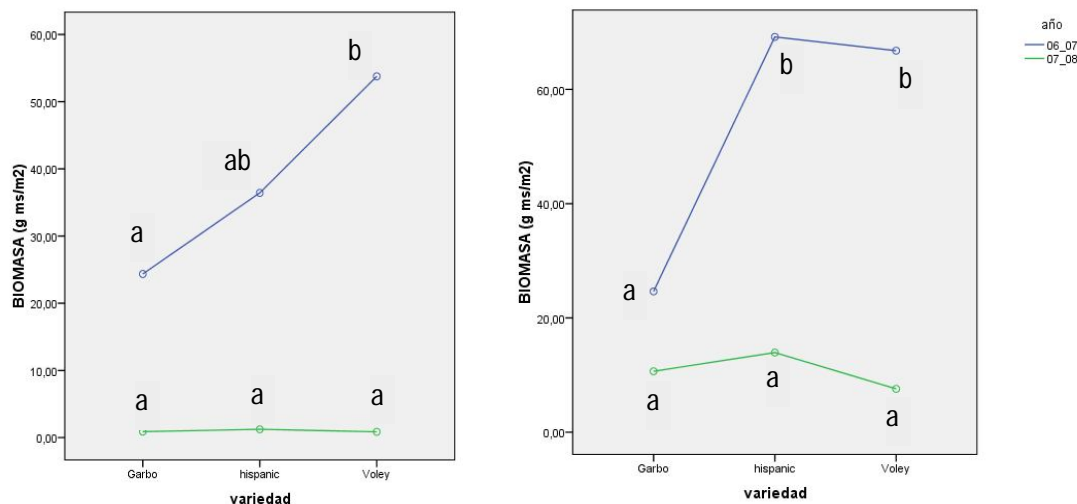


Figura 4.4.12. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres variedades de cebada en los muestreos de febrero (izquierda) y junio (derecha). Los puntos de una línea acompañados de distinta letra presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $p \leq 0,05$).

4.4.2.3. Veza.

En las vezas (tabla 4.4.23), de nuevo se repite el esquema general de mayor densidad y biomasa de malas hierbas el primer año. También resultó significativo el efecto de la variedad en la biomasa de malas hierbas en el mes de febrero, con diferencias entre Amethyste (valores máximos) y Aitana (valores mínimos). Sin embargo, debido a las interacciones entre variedad y año, dichas diferencias se manifiestan solo en el primer año pero no en el segundo (Figura 4.4.13 y Tabla 4.4.27). En Junio no hubo diferencias significativas entre variedades para ninguno de los parámetros. Existe una cierta tendencia a una mayor biomasa de arvenses con la técnica de siembra en líneas pareadas, tendencia que llega a hacerse estadísticamente significativa en el muestreo de junio del segundo año (tabla 4.4.27).

Tabla 4.4.23. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de **vezas**. Significación: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

	Febrero				Junio			
	DENSIDAD		BIOMASA		DENSIDAD		BIOMASA	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	36,660	<0,001***	63,196	<0,001***	69,754	<0,001***	53,489	<0,001***
Variedad	2,766	0,068	5,437	0,009**	0,968	0,384	3,108	0,057

	Febrero				Junio			
	DENSIDAD		BIOMASA		DENSIDAD		BIOMASA	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Técnica	0,514	0,600	,889	0,420	0,789	0,457	1,938	0,159
Año* variedad	4,591	0,013*	4,937	0,013*	3,577	0,032*	2,014	0,148
Año* técnica	1,703	0,188	,943	0,399	1,501	0,228	,245	0,784
Variedad * técnica	0,163	0,956	1,387	0,258	0,493	0,741	1,024	0,408
Año* variedad * técnica	1,795	0,137	1,264	0,302	1,107	0,358	1,319	0,282

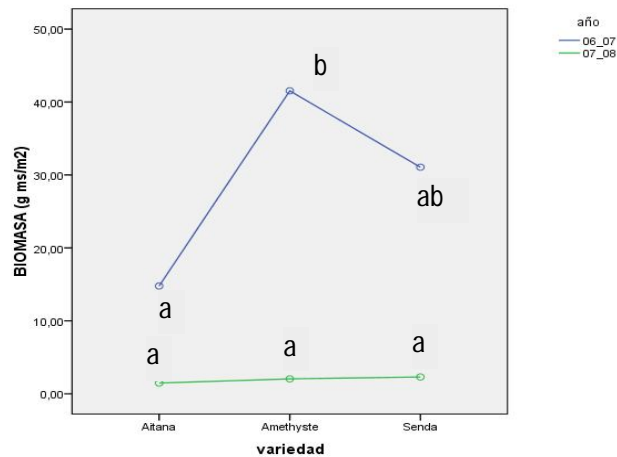


Figura 4.4.13. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en las tres variedades de veza en los muestreos de febrero. Los puntos de una línea acompañados de distinta letra presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $p \leq 0,05$).

4.4.2.4. Yeros.

En los yeros (tablas 4.4.24 y 4.4.28), el único factor que influye en la densidad y biomasa de malas hierbas es el año, siguiendo la tendencia ya expuesta en todos los cultivos.

Tabla 4.4.24. ANOVA para densidad y biomasa de arvenses para el cultivo de yeros. Significación: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

	Febrero				Junio			
	DENSIDAD		BIOMASA		DENSIDAD		BIOMASA	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	229,838	<0,001***	142,647	<0,001***	242,604	<0,001***	10,556	0,003**
Variedad	1,239	0,295	3,004	0,062	0,278	0,758	0,914	0,410
Técnica	1,077	0,345	1,218	0,308	2,070	0,132	0,812	0,452
Año* variedad	1,642	0,199	1,176	0,320	0,502	0,607	0,915	0,410
Año* técnica	1,117	0,332	0,445	0,645	1,316	0,273	0,444	0,645
Variedad * técnica	0,312	0,869	1,941	0,125	,696	0,597	0,617	0,653
Año* variedad * técnica	0,053	0,995	2,334	0,074	1,270	0,288	1,367	0,265

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.25. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de **avena**. Los valores seguidos por letras diferentes, difieren significativamente (Test de Tukey). Significación: *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001; ns: no significativo

Avena										
Año/Muestreo	Técnica	Densidad (Plantas m ⁻²)				Biomasa (gmat seca m ⁻²)				
		Byzantina	Chapline	Fringante	Promedios ns	Byzantina	Chapline	Fringante	Promedios ns	
2006-2007 Febrero	AD	434	138	174	248a	AD	113	77	82	91a
	LP	430	204	230	288a	LP	197	86	88	123a
	DN	279	116	241	212a	DN	112	71	109	97a
	Promedios***	381B	152A	215A	249	Promedios**	141B	78A	93A	103
Promedios ns					Promedios ns					
2006-2007 Junio	AD	210	118	-	164a	AD	212	125	-	168a
	LP	230	119	-	174a	LP	207	141	-	174a
	DN	160	91	-	126a	DN	159	134	-	147a
	Promedios***	200B	109A	-	154	Promedios*	193B	133A	-	163
Promedios ns					Promedios ns					
2007-2008 Febrero	AD	77	53	50	60a	AD	1,05	0,77	1,13	0,98a
	LP	74	94	60	76a	LP	0,87	1,74	1,06	1,22a
	DN	57	63	61	60a	DN	1,10	1,43	0,77	1,10a
	Promedios ns	69A	70A	57A	65	Promedios ns	1,01A	1,31A	0,99A	1,10
Promedios ns					Promedios*					
2007-2008 Junio	AD	103	86	111	100a	AD	103	76	80	86b
	LP	80	73	78	77a	LP	52	48	49	50a
	DN	72	106	102	93a	DN	56	86	51	64ab
	Promedios ns	85A	88A	97A	90	Promedios ns	70A	70A	60A	67

Tabla 4.4.26. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de cebada. Los valores seguidos por letras diferentes, difieren significativamente (Test de Tukey). Significación: *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001; ns: no significativo

Cebada										
Año/Muestreo	Técnica	Densidad (Plantas m ⁻²)				Biomasa (gmat seca m ⁻²)				
		Garbo	Hispanic	Volley	Promedios ns	Garbo	Hispanic	Volley	Promedios**	
2006-2007 Febrero	AD	97	151	223	157a	AD	7	16	57	27a
	LP	200	232	266	233a	LP	41	61	72	58b
	DN	279	209	194	228a	DN	25	32	32	30a
	Promedios ns	192A	198A	228A	206	Promedios***	24A	36AB	54B	38
										Promedios ns
2006-2007 Junio	AD	4	46	31	27a	AD	11	64	87	54a
	LP	10	23	27	20a	LP	36	82	47	55a
	DN	14	39	23	26a	DN	27	62	67	52a
	Promedios***	9A	36B	27B	24	Promedios**	25A	69B	67B	54
										Promedios ns
2007-2008 Febrero	AD	36	51	92	60a	AD	0,61	0,72	0,80	0,74a
	LP	62	61	60	60a	LP	1,04	1,65	0,83	1,18a
	DN	61	41	50	50a	DN	0,99	1,23	0,93	1,05a
	Promedios ns	53A	51A	67A	57	Promedios ns	0,88A	1,23A	0,85A	0,99
										Promedios ns
2007-2008 Junio	AD	41	31	16	30a	AD	14,4	10,5	3,2	9,4a
	LP	19	9	19	16a	LP	3,8	4,0	11,5	6,9a
	DN	39	59	32	43a	DN	13,8	27,3	8,0	16,4a
	Promedios ns	33A	33A	22A	30	Promedios ns	10,7A	13,9A	7,6A	10,9

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.4.27. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de veza. Los valores seguidos por letras diferentes, difieren significativamente (Test de Tukey). Significación: *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001; ns: no significativo

		Veza								
Año/Muestreo	Técnica	Densidad				Biomasa				
		Aitana	Amethyste	Senda	Promedios ns	Aitana	Amethyste	Senda	Promedios ns	
2006-2007 Febrero	AD	169	187	115	157a	AD	13	38	17	23a
	LP	176	274	165	205a	LP	25	50	28	34a
	DN	215	181	105	167a	DN	6	37	48	30a
	Promedios*	187AB	214B	129A	176	Promedios*	15A	42B	31AB	29
					Promedios ns					Promedios ns
2006-2007 Junio	AD	131	99	71	100a	AD	62	101	142	102a
	LP	134	83	123	113a	LP	96	15	185	144a
	DN	155	132	96	128a	DN	75	192	79	116a
	Promedios ns	140A	104A	96A	113	Promedios ns	78A	148A	135A	121
					Promedios ns					Promedios ns
2007-2008 Febrero	AD	74	121	91	95a	AD	1,30	2,98	1,88	2,05a
	LP	77	63	102	80a	LP	2,17	1,09	2,46	1,91a
	DN	43	11	115	90a	DN	0,94	2,06	2,57	1,86a
	Promedios*	65A	98AB	103B	88	Promedios ns	1,47A	2,05A	2,31A	1,94
					Promedios ns					Promedios**
2007-2008 Junio	AD	19	49	26	31a	AD	17	14	12	14a
	LP	47	52	39	46a	LP	30	49	23	34 b
	DN	8	23	44	25a	DN	3	19	16	12a
	Promedios ns	25A	42A	36A	34	Promedios ns	16A	27A	17A	20

Tabla 4.4.28. Valores medios de densidad y biomasa de arvenses en los muestreos de febrero y junio en función del año, variedad y técnica de siembra para el cultivo de yeros. Los valores seguidos por letras diferentes, difieren significativamente (Test de Tukey). No se encontraron diferencias significativas.

Yeros									
Año/Muestreo	Técnica	Parámetro							
		Densidad. Arvenses m-2				Biomasa g peso seco m-2			
		Campuzano	Del País	Torozos	Promedios	Campuzano	Del País	Torozos	Promedios
2006-2007 Febrero	AD	539	678	553	590a	14	15	20	16a
	LP	542	675	559	592a	28	12	20	20a
	DN	503	547	409	486a	23	20	15	19a
	Promedios	528A	634A	507A	589	22A	16A	18A	18
					Promedios				
2006-2007 Junio	AD	225	207	181	204a	149	44	91	94a
	LP	160	195	183	179a	114	107	77	99a
	DN	186	231	267	228a	82	69	131	94a
	Promedios	190A	211A	211A	204	115A	73A	100A	96
					Promedios				
2007-2008 Febrero	AD	58	19	35	37a	2,76	1,37	2,55	2,23a
	LP	43	71	48	54a	2,95	3,68	3,55)	3,39a
	DN	93	23	25	47a	5,03	1,29	1,55	2,63a
	Promedios	65A	38A	36A	46	3,58A	2,11A	2,55A	2,75
					Promedios				
2007-2008 Junio	AD	20	19	19	19a	33	29	41	34a
	LP	25	17	43	28a	55	56	103	71a
	DN	44	35	25	35a	43	54	39	45a
	Promedios	30A	24A	29A	27	44A	46A	61A	50

4.5. Rendimiento de los cultivos durante las campañas 2006-07 y 2007-08.

4.5.1. Avena.

El análisis de la varianza global para los componentes del rendimiento de avena arroja diferencias significativas entre variedades para todos los componentes. Entre técnicas para peso paja, número de panículas y rendimiento, y entre años para peso de mil granos, número de granos por panícula e índice de cosecha. También se encontraron interacciones año-variedad, año-técnica y variedad-técnica en algunos de los componentes (Tabla 4.5.1). En la tabla 4.5.2 se exponen pormenorizadamente los valores medios de los componentes separados por año, variedad y técnica.

En cuanto a las diferencias interanuales, el número de granos por panícula y el peso de 1000 granos fueron significativamente superiores el segundo año. Las diferencias en número de granos por panícula fueron notables, 45 el segundo año frente a 32 el primero, mientras que las diferencias en peso de mil granos fueron muy pequeñas, aunque significativas, también superiores el segundo año. La razón hay que buscarla en las mejores condiciones meteorológicas durante el segundo año, pues todas las plantas acomodan el número de semillas a las condiciones climáticas, en el caso de los cereales gracias a la distribución temporal de la anthesis. Sin embargo la masa de cada grano individual presenta un intervalo de variación muy pequeño (Loomis y Connor, 2002). Como consecuencia de todo lo anterior, las diferencias en el rendimiento, aunque están en el límite de la significación ($p=0,053$) se puede considerar que fueron también favorables al segundo año (1.572 frente a 1.273 kg por ha). También el índice de cosecha es significativamente más elevado el segundo año: 0,264 frente a 0,233.

En lo referente a variedades, Chapline ha sido la más productiva con un rendimiento medio de 1.935 kg ha⁻¹, más de 700 kg de diferencia con las otras dos variedades. Aunque la diferencia de medias es fuerte en ambas campañas, solo es estadísticamente significativa en la segunda, así como en el cómputo global, a pesar de lo cual el ANOVA no detecta interacción año-variedad en los rendimientos (Tabla 4.5.1). El superior rendimiento de Chapline descansa sobre todo en su notable número de granos por panícula (48 frente a 39 y 29), pues el número de panículas por metro cuadrado es intermedio (261 frente a 281 y 183) y el peso de mil granos es notablemente inferior (30g frente a 33g y 35g). Son precisamente estos tres

componentes del rendimiento los que se ven afectados por interacciones año-variedad (Tabla 4.5.1).

Como puede apreciarse en las figuras 4.5.1 y 4.5.2 la variedad Byzantina invierte con el cambio de campaña su posición relativa respecto a Chapline y Fringante, disminuyendo el número de panículas por metro cuadrado y aumentando en proporción similar el peso de mil granos en el segundo año respecto al primero.

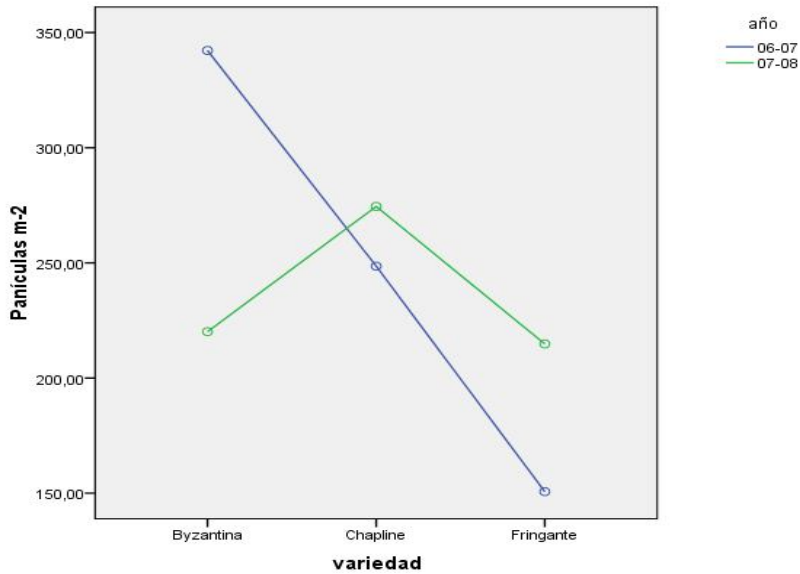


Figura 4.5.1. Número de panículas por metro cuadrado y visualización de la interacción año-variedad en avena.

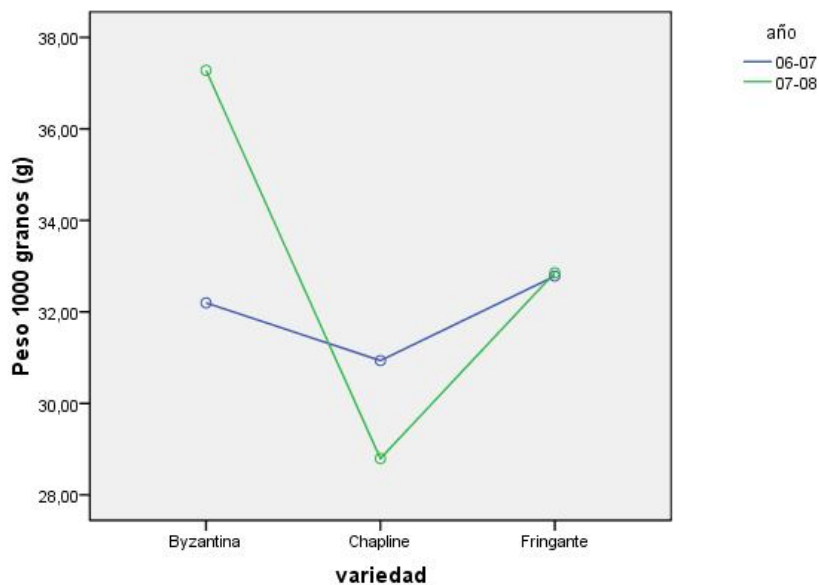


Figura 4.5.2. Peso de mil granos y visualización de la interacción año-variedad en avena.

Capítulo 4. Resultados y discusión

En cuanto al número de granos por panícula, destaca el fuerte incremento el segundo año de la variedad Chapline (Figura 4.5.3) contrarrestado parcialmente por una disminución del peso de mil granos (Figura 4.5.2). En la variedad Byzantina parece que las condiciones meteorológicas del otoño e invierno del primer año favorecieron su ahijamiento mucho más que a las restantes variedades por lo que su densidad de panículas fue máxima, lo que tuvo como respuesta una reducción en el tamaño de los granos individuales, en comparación con el segundo año, en el que con una densidad de panículas mucho más baja, el grano alcanzó tamaños máximos en comparación con las demás variedades, siendo superior a la variedad Fringante para una densidad de panículas muy similar. Lo que limita el rendimiento de la variedad Byzantina es el bajo número de granos por panícula en ambos años.

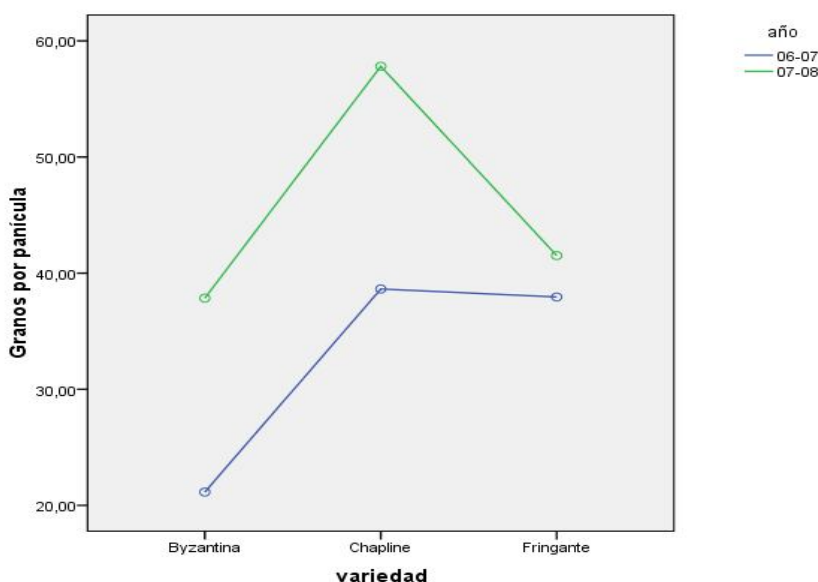


Figura 4.5.3. Granos por panícula y visualización de la interacción año-variedad en avena.

Chapline presenta mayor estabilidad en cuanto a la densidad de panículas, lo que puede deberse a un índice de ahijamiento relativamente constante e independiente de las condiciones ambientales, pero sin embargo el número de granos por panícula alcanza valores máximos con respecto a las demás variedades y resultó especialmente beneficiado por las condiciones ambientales del segundo año. Esta razón es la responsable de que Chapline alcance los rendimientos máximos. En cuanto al índice de cosecha, Chapline alcanzó valores medios de 0,27, significativamente más elevados que las otras dos variedades, aunque esta superioridad solo fue estadísticamente significativa el segundo año.

En lo referente a las técnicas de siembra, las líneas pareadas produjeron valores medios significativamente menores de producción de paja, densidad de panículas y rendimiento de grano si bien las diferencias en cuanto a producción de paja y rendimiento, solo fueron estadísticamente significativas el segundo año (tabla 4.5.2). De aquí se deduce que la siembra en líneas pareadas fundamenta su menor productividad en un muy inferior número de panículas por metro cuadrado, que no se ve compensado por el aumento de los granos por panícula. Además para dicho parámetro hubo interacción significativa entre técnica y año, resultando especialmente castigada por las condiciones climatológicas del primer año la técnica de líneas pareadas (Figura 4.5.4).

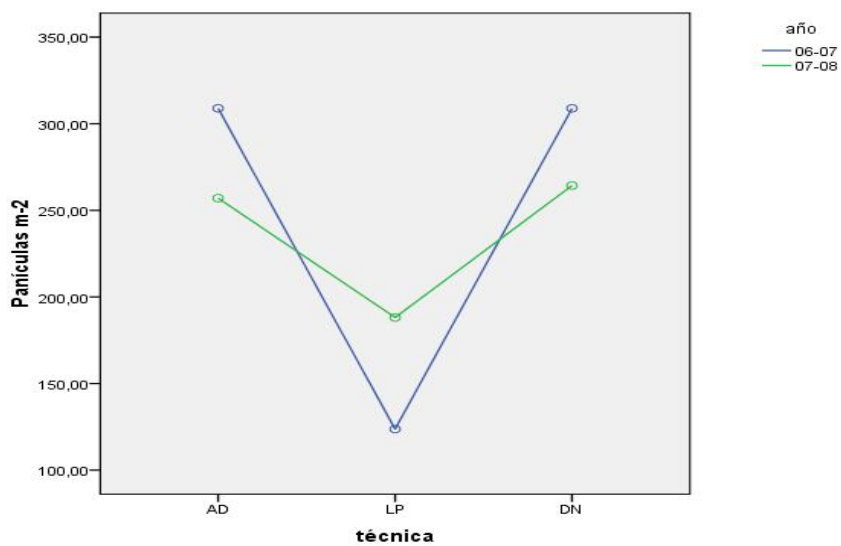


Figura 4.5.4. Densidad de panículas y visualización de la interacción año-técnica en avena.

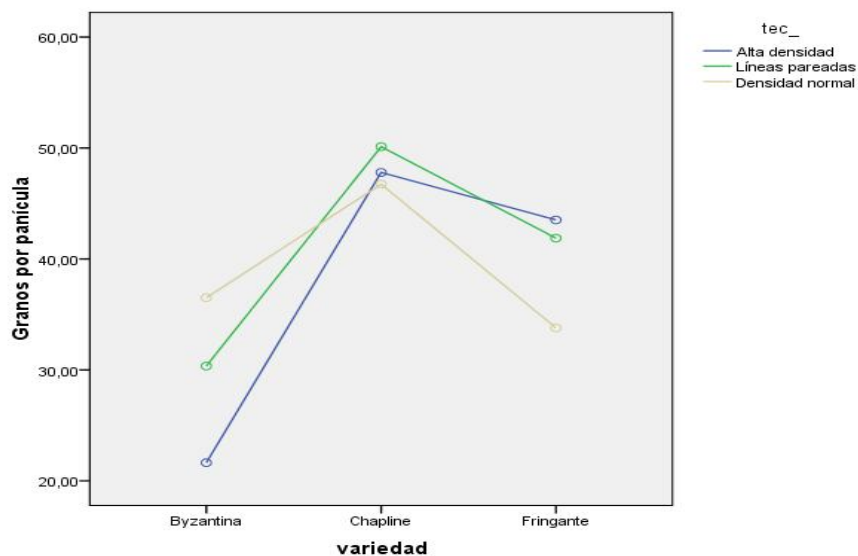


Figura 4.5.5. Granos por panícula y visualización de la interacción variedad-técnica en avena.

Capítulo 4. Resultados y discusión

Existe también una interacción entre técnica y variedad en el componente granos/panícula. La variedad Byzantina produce más granos/panícula que las demás variedades al ser sembrada en densidad normal (Figura 4.5.5).

Tabla 4.5.1. Análisis de la Varianza interanual para los componentes del rendimiento en avena. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	Peso paja		Densidad de panículas		Nº de granos por panícula		Peso de 1000 granos		Rendimientos		Índice de cosecha	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	3,221	0,081	0,607	0,441	28,536	<0,001***	6,561	0,015*	3,986	0,053	9,725	0,004**
Variedad	7,132	0,002**	19,262	<0,001***	19,354	<0,001***	52,191	<0,001***	10,438	<0,001***	9,740	<0,001***
Técnica	10,499	<0,001***	39,293	<0,001***	0,542	0,586	0,070	0,932	7,244	0,002**	1,455	0,247
Año* variedad	1,386	0,263	17,161	<0,001***	3,873	0,030*	29,662	<0,001***	0,773	0,469	0,539	0,588
Año* técnica	0,938	0,401	7,528	0,002**	2,359	0,109	0,804	0,455	0,108	0,897	4,568	0,017*
Variedad * técnica	1,130	0,358	1,140	0,353	2,882	0,036*	2,253	0,083	0,748	0,566	0,160	0,957
Año* variedad * técnica	1,313	0,284	0,901	0,473	2,394	0,069	0,785	0,542	0,962	0,440	0,831	0,515

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.5.2. Comparación de los valores medios del rendimiento de avena y sus componentes en las campañas 2006-2008. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

		Avena							
Parámetro	Técnica	2006-2007				2007-2008			
		Byzantina	Chapline	Fringante	Promedios	Byzantina	Chapline	Fringante	Promedios
Paja (gm ⁻²)	AD	410	451	267	376a	377	676	473	509b
	LP	237	397	189	274a	295	293	251	280a***
	DN	599	436	294	443a	509	645	372	509b
	Promedios	415A	428A	250A	364	394A	538B***	366A	433
Densidad (Panículas m ⁻²)	AD	425	296	205	309b	241	292	238	257b
	LP	198	103	71	124a***	185	216	164	188a***
	DN	404	347	176	309b	234	316	243	264b
	Promedios	342C	249B***	151A	247	220A	275B**	215A	237
Granos/panicula	AD	17,4	32,8	33,5	27,9a	25,9	62,8	53,6	47,4a
	LP	20,9	46,2	45,6	37,6b	39,8	54,1	38,1	44,0a
	DN	25,2	36,9	34,8	32,3ab	47,9	56,6	32,8	45,8a
	Promedios	21,1A***	38,6B	37,9B	32,6	37,8A	57,8B***	41,5A	45,7
Peso 1000 granos (g)	AD	32,0	30,2	34,2	32,1a	36,8	29,1	33,0	33,0a
	LP	31,6	31,7	31,4	31,5a	37,3	29,8	32,5	33,2a
	DN	33,0	31,0	32,8	32,3a	37,7	27,4	33,0	32,7b***
	Promedios	32,2A	30,9A	32,8A	32,0	37,3C	28,8A***	32,9B	33,0
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	AD	1186	1861	1002	1350a	1552	2406	1685	1748b
	LP	533	1480	552	862a	924	1357	970	1084a***
	DN	1832	1717	1005	1518a	1618	2792	1249	1887b
	Promedios	1191A	1686A	853A	1244	1231A	2185B***	1302A	1573
Índice de cosecha	AD	0,221	0,283	0,241	0,248a	0,226	0,262	0,263	0,250a
	LP	0,190	0,218	0,196	0,201a	0,225	0,317	0,278	0,273a
	DN	0,232	0,267	0,247	0,249a	0,241	0,310	0,251	0,267a
	Promedios	0,214A	0,256A	0,228A	0,233	0,231A	0,296C***	0,264B	0,263

4.5.2. Cebada.

El análisis de la varianza global para el rendimiento y sus componentes muestra diferencias significativas entre los dos años solamente en número de granos por espiga. Resulta interesante que ha sido superior el primer año (17,3) respecto al segundo (13,8), mientras que en avena fue lo contrario (32,6 y 45,7 respectivamente) esto parece querer decir que la cebada depende para determinar el número de granos de las condiciones de abril-mayo, y la avena de las de mayo-junio. En 2006-07 abril fue cálido y húmedo y mayo templado y muy húmedo, condiciones que han determinado una elevada formación de flores por espiga en cebada pero no en avena. En 2007-08 abril fue templado y seco, lo que desfavoreció la floración de la cebada pero no la de la avena, más tardía, que encontró en un mayo muy fresco y húmedo sus condiciones idóneas para la formación de un gran número de flores por panícula. Este caso ilustra a la perfección cómo el clima de nuestro territorio, con su gran variabilidad, ejerce de factor limitante no solo en función de los promedios anuales sino, muy especialmente, de la distribución de precipitaciones y temperaturas a lo largo del año.

Entre variedades ha habido diferencias significativas en todos los componentes del rendimiento excepto en el índice de cosecha (Tabla 4.5.3). La variedad Garbo presenta el máximo rendimiento en el cómputo global, aunque el segundo año la diferencia con las demás no es significativa, lo que se refleja estadísticamente en una interacción año-variedad (Figura 4.5.6). Los valores medios del rendimiento de Garbo fueron un 57% superiores a los de Volley y un 38% a los de Hispanic y se fundamentan en una mayor densidad de espigas (399 frente 333 y 298 espigas por metro cuadrado) y un mayor número de granos por espiga (18 frente a 14). En peso de mil granos, Garbo fue inferior, pero como el intervalo de variación es pequeño (entre 39,3 y 43,9) no llegó a contrarrestar la fuerte superioridad en los otros componentes del rendimiento.

Se han encontrado interacciones año-variedad en todos los componentes excepto índice de cosecha. Resulta interesante el paralelismo en el comportamiento de la variedad Garbo de cebada y la variedad Byzantina de avena en cuanto a densidad de espigas. En ambos casos se han visto muy favorecidas por las condiciones ambientales del primer año en cuanto a su capacidad de ahijamiento (Figuras 4.5.1 y 4.5.7), aunque en la cebada, como ya se ha visto, la diferencia se ve reflejada en los rendimientos al no ser contrarrestada por una floración inferior (Figuras 4.5.6 y 4.5.7).

Capítulo 4. Resultados y discusión

La argumentación expuesta más arriba sobre la determinante influencia del clima en las producciones de avena resulta válida entre variedades de cebada. En las figuras 4.5.6, 4.5.7, y 4.5.8 queda patente la muy distinta forma de aprovechar las condiciones climáticas de unas variedades y otras: la variedad Garbo responde mucho mejor que las otras a las buenas condiciones de abril de 2007, todo lo cual es un argumento a favor de la mezcla varietal, ya que es una manera de garantizar producciones medias aceptables en un clima tan imprevisible.

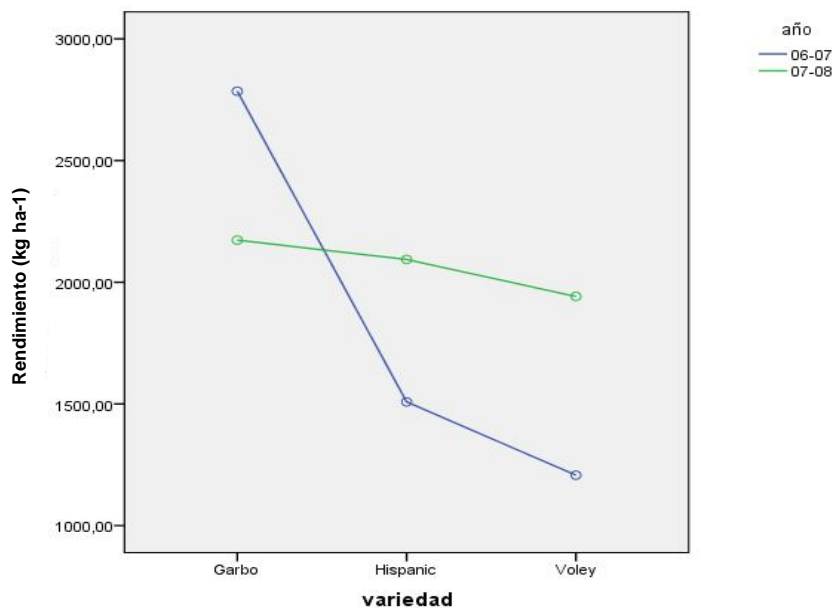


Figura 4.5.6. Rendimiento y visualización de la interacción año-variedad en cebada

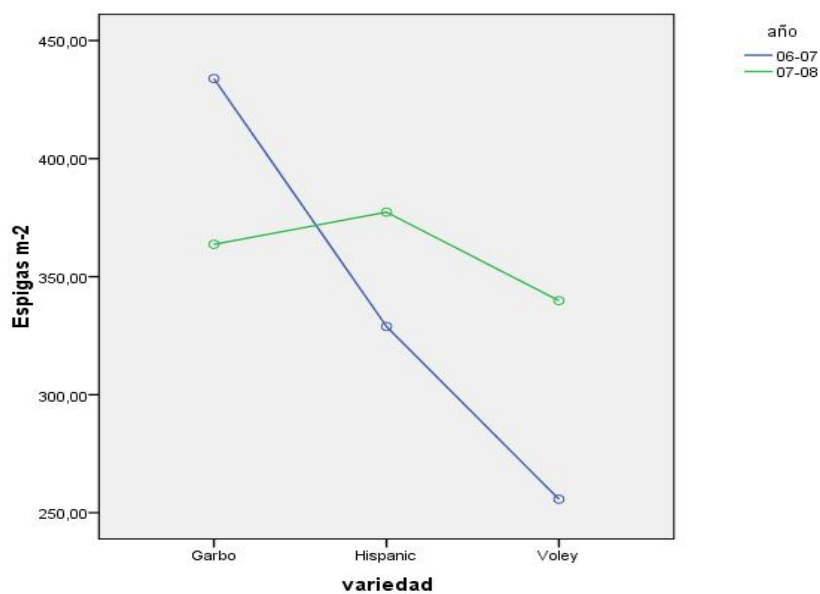


Figura 4.5.7. Espigas m⁻² y visualización de la interacción año-variedad en cebada.

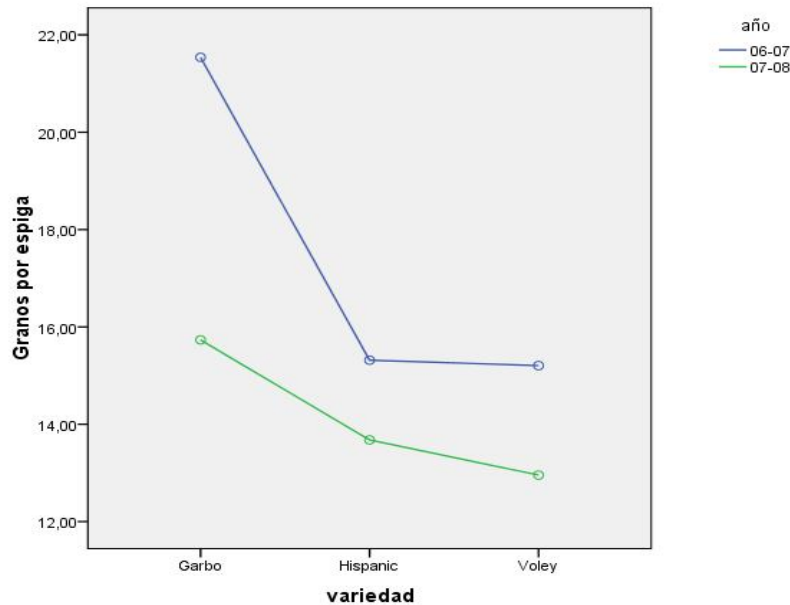


Figura 4.5.8. Granos por espiga y visualización de la interacción año-variedad en cebada.

Entre técnicas se han encontrado diferencias en densidad de espigas, peso de mil granos, rendimiento e índice de cosecha (tabla 4.5.3). Los valores medios de rendimiento son mínimos para la técnica LP, sin diferencias significativas con respecto a DN, pero si con respecto a AD, que proporciona las producciones más elevadas en el cómputo global y el segundo año. La densidad de espigas es significativamente inferior en la técnica LP, en comparación con las otras dos técnicas y es la principal razón que justifica las producciones más bajas para esta técnica, puesto que no queda compensado por otros componentes del rendimiento. Como cabría esperar, el peso de 1000 semillas, alcanza los valores significativamente más bajos en AD en el cómputo global y en el primer año. El índice de cosecha es máximo en AD, si bien no difiere de DN pero si de LP, técnica para la que se alcanzan los valores más bajos.

Se han observado interacciones año-técnica, para el peso de mil granos y el número de granos por espiga (tabla 4.5.3). En cuanto al peso de 1000 granos (tabla 4.5.4 y figura 4.5.10), el primer año se observa un valor más elevado para dicho parámetro en la técnica LP, lo que es lógico por corresponderle una menor densidad de espigas. Sin embargo esta superioridad desaparece el segundo año, lo que solo puede atribuirse a las condiciones ambientales en el período del llenado del grano. En el segundo año, la técnica de AD presenta mayor densidad de espigas y mayor número de granos por espiga, lo que la convierten la técnica con mayor rendimiento (tabla 4.5.4 y figura 4.5.11).

Capítulo 4. Resultados y discusión

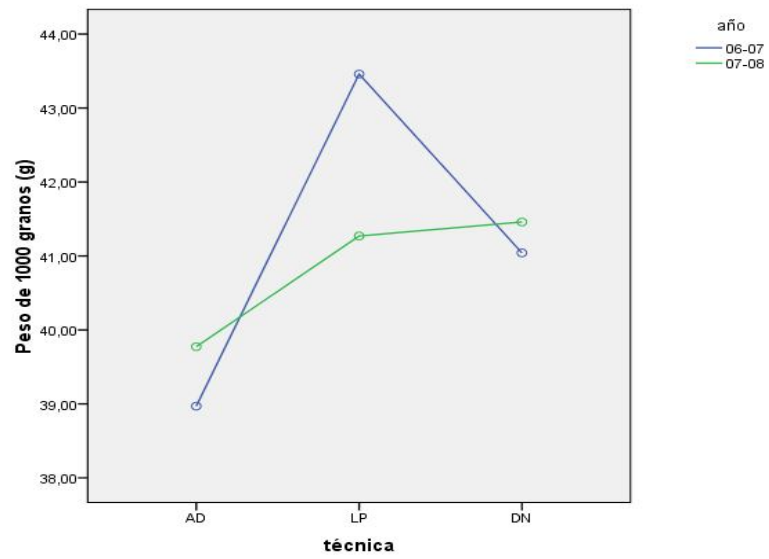


Figura 4.5.10. Peso de mil granos y visualización de la interacción año-técnica en cebada.

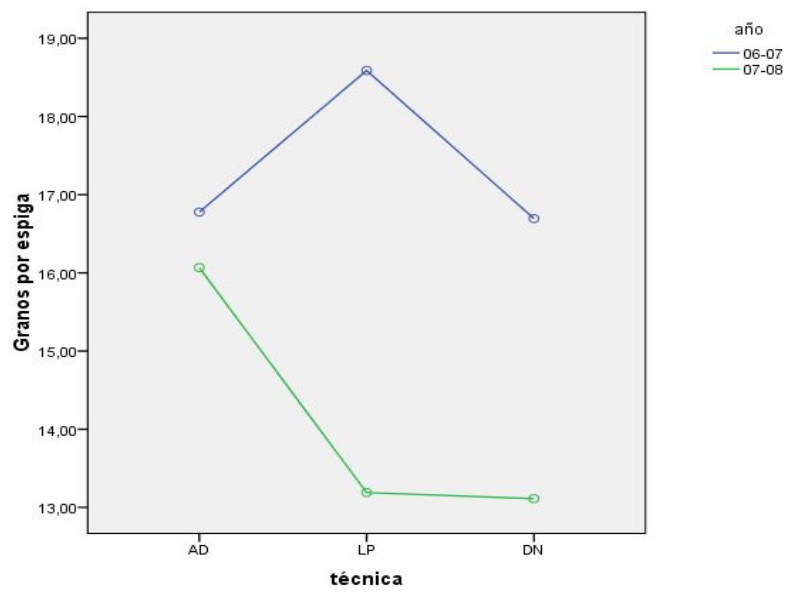


Figura 4.5.11. Granos por espiga y visualización de la interacción año-técnica en cebada.

Tabla 4.5.3. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en cebada. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	Peso paja		Densidad de espigas		Nº de granos por espiga		Peso de 1000 granos		Rendimientos		Índice de cosecha	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	0,366	0,549	1,012	0,321	30,191	<0,001***	,445	0,509	2,488	0,123	0,057	0,813
Variedad	19,467	<0,001***	7,999	0,001***	24,451	<0,001***	19,248	<0,001***	13,224	<0,001***	0,909	0,412
Técnica	2,410	0,104	11,422	<0,001***	2,291	0,116	13,048	<0,001***	4,697	0,015*	3,262	0,050*
Año* variedad	16,841	<0,001***	5,102	0,011*	4,879	0,013*	3,977	0,028*	8,130	0,001***	3,214	0,052
Año* técnica	0,656	0,525	2,834	0,072	5,386	0,009**	3,778	0,032*	1,690	0,199	2,466	0,099
Variedad * técnica	0,847	0,505	0,824	0,518	0,486	0,746	2,147	0,095	1,075	0,383	0,124	0,973
Año* variedad * técnica	1,925	0,127	1,968	0,120	1,980	0,118	,582	0,677	1,640	0,185	0,108	0,979

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.5.4. Comparación de los valores medios del rendimiento de cebada y sus componentes en las campañas 2006-2008. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

		Cebada							
Parámetro	Técnica	2006-2007				2007-2008			
		Garbo	Hispanic	Volley	Promedios	Garbo	Hispanic	Volley	Promedios
Paja (gm ⁻²)	AD	330	191	86	202 a	252	227	175	218a
	LP	288	146	154	196 a	179	196	149	175a
	DN	402	188	124	238 a	180	227	239	215a
	Promedios	340 B***	84 A	122 A	212	204 A	217 A	188 A	203
Densidad (Espigas m ⁻²)	AD	469	441	284	398b	442	400	344	395b
	LP	295	200	216	237a**	323	354	302	326a*
	DN	538	345	268	384b	326	378	373	359ab
	Promedios	434B**	329AB	256A	339	364A	377A	340A	360
Granos/espiga	AD	22,1	14,2	14,1	16,8a	15,8	17,3	15,1	16,1b*
	LP	22,4	16,7	16,7	18,6a	16,1	12,6	10,9	13,2a
	DN	20,2	15,1	14,8	16,7a	15,3	11,2	12,8	13,1a
	Promedios	21,5B***	15,3A	15,2A	17,4	15,7B**	13,7AB	13,0A	14,1
Peso 1000 granos (g)	AD	37,0	39,8	40,0	39,0a	36,1	40,9	42,3	39,8a
	LP	43,0	41,8	45,6	43,5c***	39,8	40,5	43,5	41,3a
	DN	41,1	40,4	41,6	41,0b	38,7	41,1	44,6	41,5a
	Promedios	40,4A	40,7A	42,4B***	41,2	38,2A	40,8AB	43,5B***	40,9
Rendimientos (Kg ha ⁻¹)	AD	2987	1863	944	1931a	2538	2791	2244	2524b**
	LP	2150	1113	1454	1573a	2058	1788	1437	1761a
	DN	3218	1546	1224	1997a	1922	1701	2144	1922a
	Promedios	2785B***	1508A	1207A	1834	2173A	2094A	1942A	2069
Índice de cosecha	AD	0,479	0,487	0,525	0,497a	0,487	0,468	0,452	0,469a
	LP	0,419	0,425	0,470	0,438a	0,470	0,463	0,461	0,465a
	DN	0,448	0,460	0,488	0,465a	0,471	0,479	0,470	0,473a
	Promedios	0,449A	0,457A	0,494A	0,467	0,476A	0,470A	0,461A	0,469

4.5.3. Veza.

En el caso de la veza, el ANOVA muestra diferencias muy significativas estadísticamente entre los dos años del ensayo en todos los componentes del rendimiento. Entre variedades hay diferencias en todos los componentes excepto en granos por vaina, y las técnicas difieren en peso de paja, vainas por planta y rendimiento. También se observan numerosas interacciones: entre año y variedad para rendimiento, vainas por planta, peso de 100 granos e índice de cosecha; entre año y técnica para peso de paja, vainas por planta y rendimiento, y entre variedad y técnica para vainas por planta, componente para el que también se observa una interacción triple entre año, variedad y técnica, por lo que parece ser el componente del rendimiento más sensible al conjunto de los tratamientos y factores ambientales estudiados (Tabla 4.5.5). La tabla 4.5.6 presenta los datos pormenorizados y las medias anuales.

Entre campañas se acumulan notables diferencias en todos los componentes del rendimiento. El peso medio de paja del primer año (368 g m^{-2}) es claramente inferior al del segundo (532 g m^{-2}). Sin embargo el rendimiento medio de grano del primer año (952 kg ha^{-1}) ha sido significativamente superior al del segundo (708 kg ha^{-1}) y en consecuencia el índice de cosecha fue muy superior el primer año (0,191) que el segundo (0,116). También el resto de componentes del rendimiento han sido muy diferentes en las dos campañas. El número medio de vainas por planta fue de 11,96 el primer año frente a 6,68 el segundo, el número medio de granos por vaina 8,32 frente a 3,79 y el peso de cien granos de 5,97 frente a 4,17. Los tres valores fueron parcialmente compensados por la densidad de plantas que el primer año tuvo un valor medio de solo 19,2 plantas m^{-2} frente a 70,9 del segundo.

Entre variedades, en términos globales la paja producida por Aitana (426 g m^{-2}) ha sido significativamente inferior a la de Senda (504 g m^{-2}). En cuanto a rendimiento, la variedad Aitana resulta globalmente la menos productiva (730 kg ha^{-1}), aunque no difiere significativamente de Amethyste, mientras que Senda, que parece haberse beneficiado especialmente de las condiciones del primer año, es la que presenta un rendimiento medio más elevado (1.017 kg ha^{-1}). Amethyste presenta un comportamiento extremo en cuanto a sensibilidad a las condiciones ambientales, viéndose comparativamente muy perjudicada por las del primer año y algo favorecida por las del segundo. El número medio de vainas por planta de esta variedad en la primera campaña fue de 7,93 frente a 13,47 de Aitana y 14,49 de Senda, mientras que

Capítulo 4. Resultados y discusión

el segundo año las tres produjeron en torno a 6 vainas por planta; el número medio de granos por vaina de Amethyste en la primera campaña fue de 7,33 frente a 8,73 de Aitana y 8,90 de Senda, mientras que el segundo año los valores oscilaron entre 3,50 y 4,15 granos por vaina; el rendimiento medio de Amethyste en la primera campaña fue de 702 kg h⁻¹ frente a 844 de Aitana y 1.270 de Senda, mientras que en la segunda campaña los valores fueron de 785 kg ha⁻¹ para Amethyste frente a 576 de Aitana y 765 de senda. Todo ello se refleja estadísticamente en interacciones año-variedad en el rendimiento (Figura 4.5.12) y en componentes como vainas por planta (Figura 4.5.13), y peso de cien granos, pero no en granos por vaina.

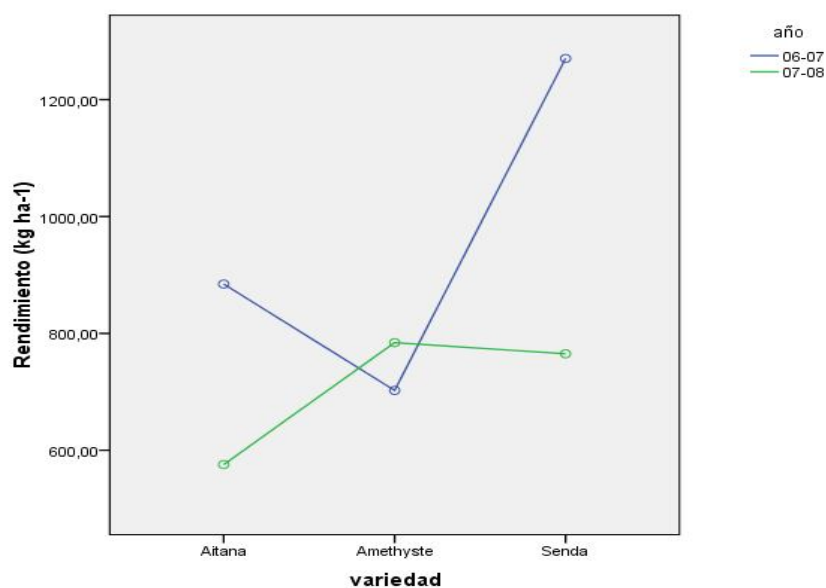


Figura 4.5.12. Rendimiento y visualización de la interacción año-variedad en veza.

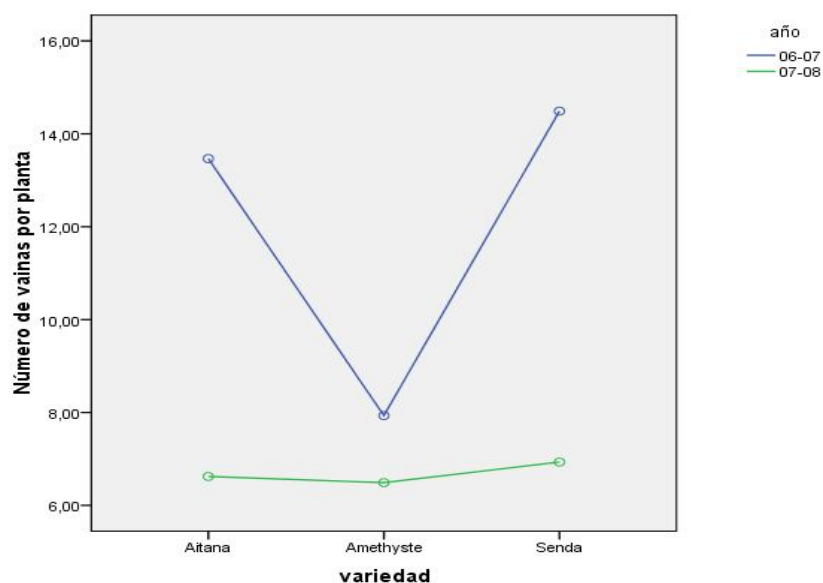


Figura 4.5.13. Número de vainas por planta y visualización de la interacción año-variedad en veza.

Entre las tres variedades, Amethyste aparece como la que tiene menor capacidad de aumentar el número de flores cuando las condiciones son idóneas, es decir, como la variedad con menos plasticidad fenotípica para el componente vainas por planta, de ahí su menor aprovechamiento de las buenas condiciones para formar frutos del primer año (figura 4.5.13). También se hace evidente esta menor plasticidad en el menor incremento de vainas cuando es sembrada en líneas pareadas, cuya peculiar distribución suele compensarse con un mayor desarrollo de cada planta sembrada, como así lo han hecho las variedades Senda y Aitana (Figura 4.5.16).

Entre técnicas el peso medio global de la paja producida en LP (339 g m^{-2}) ha sido muy inferior al de AD (495 g m^{-2}) y DN (515 g m^{-2}). El rendimiento medio también ha sido inferior en LP: 621 kg ha^{-1} frente a 983 en AD y 887 en DN. Por el contrario, el número medio de vainas por planta ha sido netamente superior en LP (11,31) que en AD (8,00) y DN (8,61) pese al comportamiento de la variedad Amethyste (Figura 4.5.16). En cuanto a interacciones, las líneas pareadas se han visto muy favorecidas por las condiciones del primer año en cuanto a vainas por planta (Figura 4.5.15) pero el número de granos por vaina resultó muy inferior (tabla 4.5.6) por lo que el rendimiento también sufrió una reducción muy importante ese año (Figura 4.5.14)

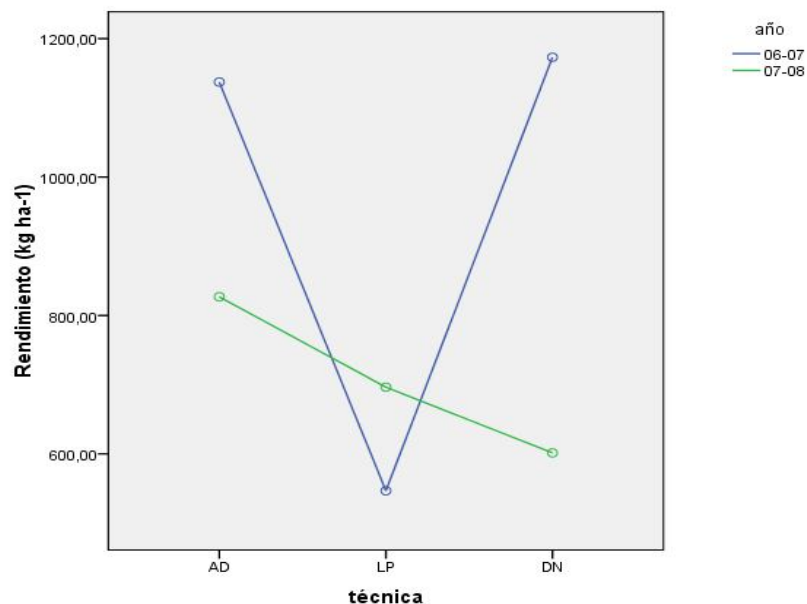


Figura 4.5.14. Rendimiento y visualización de la interacción año-técnica en veza.

Capítulo 4. Resultados y discusión

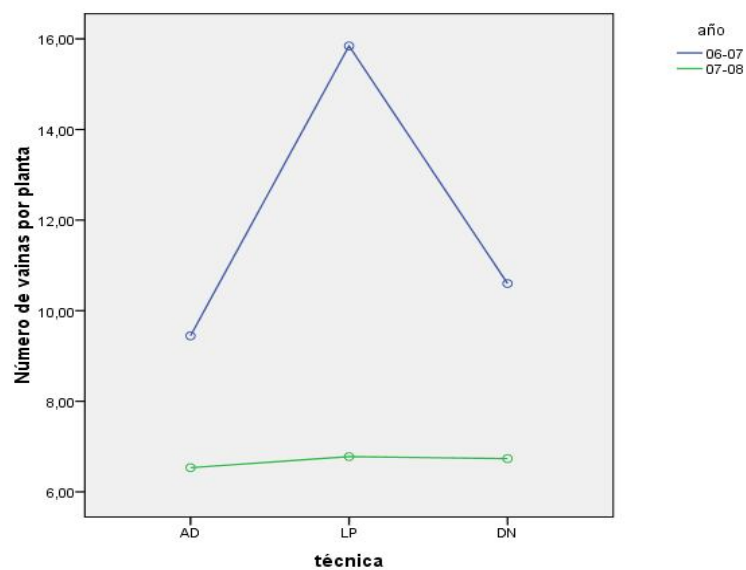


Figura 4.5.15. Número de vainas por planta y visualización de la interacción año-técnica en veza.

Si se contrastan variedades y técnicas de cultivo para el parámetro vainas por planta, queda claro que lo que supone una fuerte ventaja para Senda y Aitana en las parcelas en líneas pareadas, en las condiciones del primer año se convierte en desventaja para Amethyste (Figura 4.5.16) lo cual queda reflejado estadísticamente en la interacción triple año-variedad-técnica. Cabría pues disuadir del uso de las líneas pareadas con esta variedad, pues parece que su genética no responde a las ventajas de esta técnica de siembra ni aún cuando las condiciones ambientales son óptimas para ello.

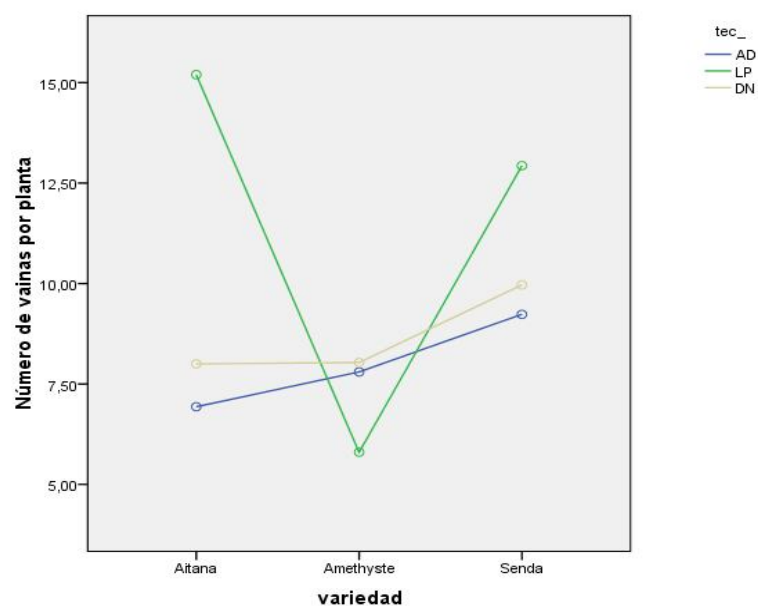


Figura 4.5.16. Número de vainas por planta y visualización de la interacción variedad-técnica en veza.

Algo similar ocurre en cuanto al nº de granos por vaina, aunque con diferencias menos dramáticas.

Las condiciones climáticas han sido pues determinantes del comportamiento de las vezas. Los dos años han sido climáticamente favorables, pero con interesantes matices: el primero, más templado y húmedo a lo largo de todo el ciclo vegetativo, ha favorecido la producción de grano en general, pero de forma especial a las variedades que parecen ser más plásticas, en cuanto a número de flores que se forman y cuajan y en cuanto a la fecha de floración (Senda y Aitana). El efecto de una mayor formación de vainas por planta se ha visto reforzado en las parcelas sembradas en líneas pareadas, técnica que globalmente ha sido menos productiva por no compensar en conjunto la menor densidad de plantas. El segundo año, con un inicio de la primavera mucho menos favorable pero con un mayo y junio húmedos y frescos, ha favorecido la formación de biomasa vegetativa pero ha restringido el tiempo apto para la formación de flores y el cuajado de las mismas por lo que el número de flores por planta y el de granos por vaina se ha reducido y homogeneizado entre las tres variedades.

Resulta muy interesante que si bien los rendimientos anuales han diferido globalmente en un 25%, los componentes que los han determinado han sido mucho más divergentes. Todos ellos son destacables, pero quizá la diferencia más notable se produce en la densidad de plantas que es casi cuatro veces superior el segundo año que el primero. Cabe preguntarse por qué de entre 280 semillas sembradas por metro cuadrado solo una media de 20 han salido adelante el primer año. De entre las causas posibles no hay que olvidar que la siembra fué realizada en la fase final de la plaga de topillo. También hay que tener en cuenta la fuerte infestación de arvenses de febrero de 2007. Solo las excepcionales condiciones meteorológicas de la campaña y la singular capacidad adaptativa de dos de las tres variedades sembradas permitieron, mediante la formación de plantas inusualmente largas y fértiles alcanzar las producciones mencionadas, que en la variedad Senda superaron ampliamente la media productiva de la zona. Del mismo modo hay que destacar que la gran densidad de plantas del segundo año no se viera reflejada en mayores rendimientos a pesar de la muy propicia meteorología de los meses de mayo y junio. De todo ello se desprende que al cultivo de la veza, al menos para las variedades Senda y Aitana, le resulta beneficiosa para la formación de grano una abundante pluviometría repartida todo el año y un mayo templado, así como una baja competencia entre plantas, que parece estimular la floración y la granazón. Sin embargo la formación de masa verde se ve

Capítulo 4. Resultados y discusión

favorecida por una alta densidad de plantas y unos meses de mayo y junio húmedos y frescos.

Una vez más se comprueba el comportamiento tan distinto de las variedades con variaciones relativamente pequeñas de las condiciones climáticas en base a su particular genética, y refuerza lo idóneo de la mezcla varietal para conseguir unos rendimientos medios estables.

Tabla 4.5.5. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en veza. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	Peso paja		Densidad de plantas		Número de vainas por planta		Nº de granos por vaina		Peso de 100 granos		Rendimientos		Índice de cosecha	
	F	p	F	P	F	p	F	F	F	p	F	p	F	p
Año	36,931	<0,001** *	44,464	<0,001** *	55,901	<0,001** *	9,458	9,458	70,502	<0,001** *	9,458	0,004**	70,502	<0,001** *
Variedad	4,195	0,024*	1,341	0,275	8,450	0,001***	5,960	5,960	4,333	0,012*	5,960	0,006**	4,333	0,021*
Técnica	15,536	<0,001** *	1,435	0,252	7,548	0,002**	6,818	6,818	1,016	0,175	6,818	0,003**	1,016	0,373
Año* variedad	0,420	0,660	1,237	0,303	6,800	0,003**	4,399	4,399	10,062	0,008**	4,399	0,020*	10,062	<0,001** *
Año* técnica	4,300	0,022*	0,715	0,496	6,695	0,004**	6,599	6,599	2,778	0,103	6,599	0,004**	2,778	0,076
Variedad * técnica	0,723	,582	0,396	0,810	6,095	0,001***	1,739	1,739	1,572	0,416	1,739	0,164	1,572	0,204
Año* variedad * técnica	0,579	,680	0,791	0,539	6,031	0,001***	0,464	0,464	1,447	0,483	0,464	0,762	1,447	0,240

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.5.6. Comparación de los valores medios del rendimiento de veza y sus componentes en las campañas 2006-2008. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Parámetro	Técnica	Veza							
		2006-2007				2007-2008			
		Aitana	Amethyste	Senda	Promedios	Aitana	Amethyste	Senda	Promedios
Paja (g m ⁻²)	AD	400	396	484	427b	540	580	568	563 a
	LP	204	96	308	202a***	456	424	552	477 a
	DN	400	500	524	475b	560	520	588	556 a
	Promedios	335 A**	330AB	439B	368	518 A	508 A	570 A	532
Densidad (pl m ⁻²)	AD	25,8	21,5	24,1	23,8b	57,8	121,5	71,6	83,6a
	LP	4,7	18,5	14,9	11,0a*	64,3	62,3	69,4	65,3a
	DN	25,0	18,6	23,8	22,5ab	49,5	77,8	57,2	61,5a
	Promedios	18,5 A	19,8A	20,9A	19,1	57,2A	87,2A	66,1A	70,2
Vainas/planta	AD	7,67	8,67	12,00	9,44a	6,20	6,93	6,47	6,53a
	LP	23,60	5,00	18,93	15,84**	6,80	6,60	6,93	6,78a
	DN	9,13	10,13	12,53	10,60a	6,87	5,93	7,40	6,73a
	Promedios	13,47B	7,93A**	14,49B	11,96	6,62A	6,49A	6,93A	6,68
Granos/vaina	AD	9,14	10,14	8,62	9,30a	3,68	4,07	4,07	3,94a
	LP	7,50	2,40	7,75	5,88a	4,03	3,45	3,88	3,78a
	DN	9,54	9,45	10,33	9,77a	3,45	2,99	4,51	3,65a
	Promedios	8,73A	7,33A	8,90A	8,32	3,72A	3,50A	4,15A	3,79
Peso 100 granos (g)	AD	5,87	5,56	6,08	5,84a	4,19	4,11	4,10	4,13a
	LP	6,22	5,40	6,38	6,00a	4,18	4,34	4,51	4,34a
	DN	6,05	5,89	6,28	6,07a	4,09	4,11	3,92	4,04a
	Promedios	6,05B	5,61A***	6,25B	5,97	4,15A	4,19A	4,17A	4,17
Rendimientos (Kg ha ⁻¹)	AD	1037	1025	1349	1137b	538	1175	771	829a
	LP	499	120	1021	547a***	705	595	789	696a
	DN	1117	962	1441	1173b	484	586	735	601a
	Promedios	884A	702A	1270B***	952	576A	785A	765A	708
Índice de cosecha	AD	0,205	0,164	0,216	0,195a	0,091	0,169	0,118	0,126a
	LP	0,179	0,116	0,245	0,180a	0,133	0,122	0,125	0,127a
	DN	0,217	0,160	0,216	0,198a	0,076	0,101	0,105	0,094a
	Promedios	0,201B	0,146A***	0,226B	0,191	0,100A	0,131A	0,116A	0,116

4.5.4. Yeros.

Del análisis de la varianza global de los rendimientos de yeros (Tabla 4.5.7) destaca en primer lugar el hecho de que no existen diferencias entre variedades, y pone de manifiesto el carácter de ecotipos, más que de variedades bien diferenciadas, de los tres tipos de semillas que se pusieron a prueba, de hecho ninguna de las tres está incluida en el registro oficial de variedades. Hay, sin embargo, fuertes diferencias interanuales y también se observan importantes diferencias entre técnicas. Se observan interacciones entre año y técnica para la producción de paja y el índice de cosecha, aunque el rendimiento de grano está cercano a la significación ($p=0,077$). El índice de cosecha presenta interacciones variedad-técnica y año-variedad-técnica.

No se ha producido en yeros el contraste de comportamientos que se dió en vezas entre la producción de paja y la de grano en ambos años (ver apartado 4.5.3). Por el contrario, la menor producción total de paja el primer año (174 g m^{-2} frente 271 g m^{-2}) se ve correspondida con una menor producción de grano (1.089 kg ha^{-1} frente a 1.412 kg ha^{-1}) aunque en ambos casos las cosechas superan ampliamente las producciones medias de la zona. El incremento de paja el segundo año ha sido del 36% frente al 22% de incremento del grano, por lo cual el índice de cosecha ha disminuido, pasando de un valor medio de 0,37 el primer año a 0,34 el segundo. Según esto, los yeros ven su producción global favorecida por las condiciones meteorológicas de ambas campañas, pero de forma especial por las suaves temperaturas de mayo de 2008. Coincide también con una menor presencia de arvenses, pero esto hay que interpretarlo a la vez como causa y efecto de la mayor producción, ya que la excelente competitividad del cultivo ha influido sin duda en la disminución de arvenses presentes (Figuras 4.4.9 y 4.4.10. Tabla 4.4.28).

Las parcelas sembradas en LP han sido globalmente menos productivas, ya que sus 1.005 kg ha^{-1} suponen un 23% menos que AD y un 29% que DN. Las parcelas en LP, a pesar de desarrollar un 38% más de vainas que las de AD y un 16% más que las de DN, y ser también en torno a un 10% superiores en granos por vaina, ambas cosas por su mayor disponibilidad de luz y nutrientes, no han podido compensar la densidad muy inferior de plantas desarrolladas ($63 \text{ plantas m}^{-2}$ frente a 160 de AD y 129 de DN) de ahí su menor rendimiento. También en LP se han aprovechado de forma más discreta las mejores condiciones del segundo año para la producción de grano, pues aunque la interacción año-técnica es solo significativa para el peso paja (Figura 4.5.12) ,el valor de p para el rendimiento ($p=0,077$) permite afirmarlo, aunque con reservas.

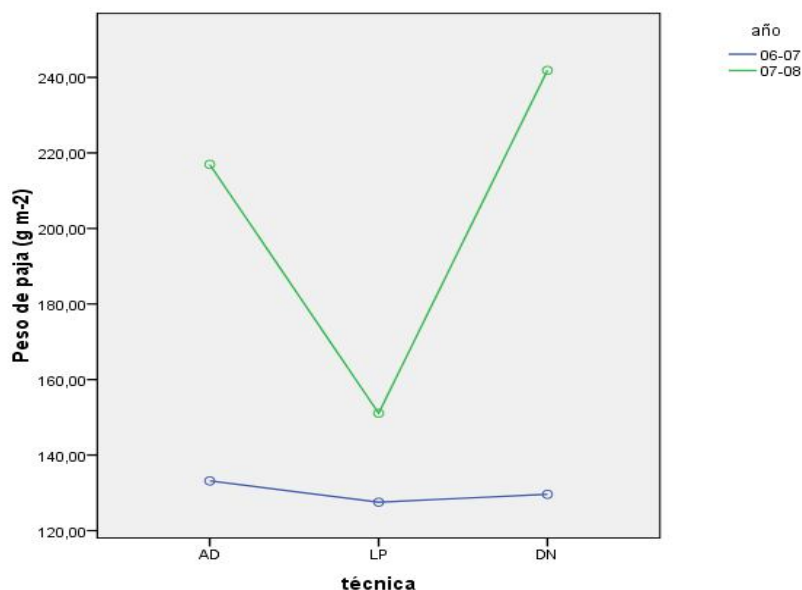


Figura 4.5.12. Peso de paja y visualización de la interacción año-técnica en yerros.

Descomponiendo el rendimiento por elementos, de entre los factores medidos el número de vainas por planta ha contribuido al aumento de la producción de grano el segundo año, pasando de 12,8 a 15,3 de valor medio (+16%). Sin embargo, el hecho de que el número de granos por vaina y el peso de 100 granos hayan disminuido en un 50 y 29% respectivamente y que el aumento de producción de grano haya sido de un 22%, convierte la densidad en el factor fundamental para el incremento del rendimiento en la campaña 2007-08. Como la siembra ha sido realizada con sembradora de precisión y a un número determinado de semillas por superficie, solo cabe pensar que las condiciones del segundo año, entre las que destacarían la menor presencia de arvenses, han favorecido la nascencia y desarrollo de un número considerablemente superior de plantas que el primero.

Tabla 4.5.7. Resultados del análisis de la varianza interanual de los componentes del rendimiento en yeros. Significación: *p≤0,05; **p≤0,01 ; ***p≤0,001

Efecto	Peso paja		Densidad de plantas		Vainas por planta		Granos por vaina		Peso de 100 granos		Rendimientos		Índice de cosecha	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Año	49,956	<0,001***	63,971	<0,001***	169,541	<0,001***	4,897	0,033*	390,828	<0,001***	15,881	<0,001***	16,137	<0,001***
Variedad	1,066	0,355	0,562	0,575	0,218	0,805	1,182	0,318	0,203	0,817	1,497	0,237	5,360	0,009**
Técnica	7,353	0,002**	13,579	<0,001***	4,527	0,018*	10,921	<0,001***	2,457	0,100	10,071	<0,001***	1,636	0,209
Año* variedad	1,099	0,344	0,278	0,759	2,045	0,144	0,037	0,963	1,375	0,266	0,120	0,887	0,922	0,407
Año* técnica	6,378	0,004**	3,918	0,029*	0,671	0,518	0,789	0,462	0,466	0,631	2,755	0,077	5,867	0,006**
Variedad * técnica	0,316	0,865	1,152	0,348	0,521	0,721	0,728	0,579	0,274	0,893	0,164	0,955	5,722	0,001***
Año* variedad * técnica	0,258	0,903	1,503	0,222	0,813	0,525	1,810	0,148	0,211	0,930	0,659	0,624	7,012	<0,001***

Capítulo 4. Resultados y discusión

Tabla 4.5.8. Comparación de los valores medios del rendimiento de yeros y sus componentes en las campañas 2006-2008. Significación: *p<0,05; **p<0,01 ; ***p<0,001

Parámetro	Técnica	Yeros							
		2006-2007				2007-2008			
		Campuzano	Del País	Torozos	Promedios	Campuzano	Del País	Torozos	Promedios
Paja (gm ⁻²)	AD	165	176	191	177a	247	316	304	289b
	LP	184	169	157	171a	177	221	205	201a**
	DN	176	192	151	173a	307	327	333	323b
	Promedios	175A	180A	167A	174	244 A	288 A	281 A	271
Densidad (Plantas m ⁻²)	AD	79,2	68,6	78,4	75,4c	176,5	268,5	293,6	246,2b
	LP	28,6	33,1	29,6	30,3a***	81,4	104,2	103,9	96,5a**
	DN	52,2	57,5	67,9	59,2b	242,2	141,2	197,7	193,7b
	Promedios	53,4A	53,0A	58,5A	54,9	166,7A	171,3A	198,4A	178,8
Vainas/planta	AD	9,4	10,4	10,5	10,1b	15,9	9,7	8,1	11,2a*
	LP	16,8	16,4	15,5	16,2a***	1605	20,9	17,3	18,2b
	DN	12,7	15,2	8,6	12,2b	14,7	17,8	17,6	16,7ab
	Promedios	13,0A	14,0A	11,6A	12,9	15,7A	16,1A	14,3A	15,4
Granos/vaina	AD	3,5	3,6	3,5	3,5a	1,77	2,01	1,72	1,83a
	LP	4,0	4,0	4,7	4,2a	2,03	2,23	2,08	2,11a
	DN	3,9	3,4	3,7	3,7a	1,50	2,26	1,61	1,79a
	Promedios	3,8A	3,7A	4,0A	3,8	1,77A	2,17A	1,80A	1,91
Peso 100 granos (g)	AD	4,40	4,64	4,54	4,53a	3,226	3,229	3,297	3,251ab
	LP	4,64	4,95	4,67	4,76a	3,425	3,263	3,316	3,335b
	DN	4,59	4,60	4,56	4,58a	3,206	3,117	3,191	3,171a*
	Promedios	4,54A	4,73A	4,59A	4,62	3,285A	3,203A	3,268A	3,252
Rendimientos (Kg ha ⁻¹)	AD	1060	1187	1265	1171b	1317	1670	1357	1448ab
	LP	898	968	975	947a*	937	1171	1081	1063a**
	DN	1152	1323	979	1151ab	1668	1735	1776	1726b
	Promedios	1037A	1159A	1073A	1090	1307A	1526A	1405A	1412
Índice de cosecha	AD	0,391	0,404	0,399	0,398b**	0,344	0,344	0,309	0,332a
	LP	0,325	0,362	0,383	0,356a	0,33	0,357	0,339	0,343a
	DN	0,401	0,408	0,266	0,358a	0,352	0,346	0,346	0,348a
	Promedios	0,372AB	0,391B	0,349A**	0,371	0,343A	0,349A	0,331A	0,341

4.6. Interacciones entre el desarrollo de arvenses y el rendimiento de los cultivos.

En la tabla 4.6.1 se presentan los análisis de regresión lineal entre la biomasa y densidad de arvenses (variables predictoras) y el rendimiento o la producción de paja (variables dependientes).

En avena no ha resultado significativo ninguno de los análisis.

En cebada han resultado débilmente significativos los de biomasa vs. rendimiento, pero con unos coeficientes de correlación muy bajos, es decir, una correlación muy difusa de pendiente negativa.

Tabla 4.6.1. Resultados del análisis de regresión lineal simple para los rendimientos y la densidad y biomasa de arvenses para cada cultivo. En veza y yeros se presentan también regresiones en las que la variable dependiente no es el rendimiento sino la paja.

Cultivo	Muestreo	Variable predictora	Variable dependiente	Signif.	R ²	B ₀ (constante en el origen)	B ₁ (pendiente de la recta)
Avena	Febrero	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	ns			
	Junio	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	ns			
Cebada	Febrero	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	*	0,108	2024	-0.586
	Junio	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	*	0,156	2249	-9,269
Veza	Febrero	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	*	0,101	766	6,293
	Junio	Densidad	Rendimiento	ns			
		Biomasa	Rendimiento	ns			
	Febrero	Densidad	Paja	**	0,137	414	-0,537
		Biomasa	Paja	*	0,108	373	-1,77
	Junio	Densidad	Paja	***	0,192	415	-0,86
		Biomasa	Paja	***	0,187	389	-0,60
Yeros	Febrero	Densidad	Rendimiento	**	0,139	1392	-0,467
		Biomasa	Rendimiento	*	0,090	1376	-11,705
	Junio	Densidad	Rendimiento	**	0,164	1424	-1,492
		Biomasa	Rendimiento	**	0,125	1426	-2,402
	Febrero	Densidad	Paja	***	0,308	199	-0,11
		Biomasa	Paja	***	0,220	197	-2,79
	Junio	Densidad	Paja	***	0,328	204	-0,42
		Biomasa	Paja	**	0,143	196	-0,98

Capítulo 4. Resultados y discusión

En veza se repite la falta de significación excepto cuando se aplica la biomasa de arvenses de febrero como variable predictora, en la que se da nuevamente una correlación muy difusa y débilmente significativa y además de pendiente positiva, es decir, a mayor biomasa de arvenses mayor producción, lo cual puede ser comprensible cuando las cifras de rendimientos son bajas o muy bajas, porque arvenses y cultivo pueden estar tan limitados por algún factor ambiental que no compiten apenas entre si, pero como las producciones se situaron en todo momento en valores por encima de la media habitual de la zona, el hecho tenía difícil explicación. Dado que en este cultivo se había apreciado una falta de correspondencia entre la paja y las producciones de ambos años, se realizó análisis de regresión usando como variable dependiente la paja, obteniéndose esta vez correlaciones de pendiente negativa que en junio fueron altamente significativas, aunque sin dejar de ser difusas, de forma que aunque los rendimientos tuvieron un comportamiento favorecido en apariencia por la presencia de arvenses, el cultivo como tal, incluida la masa vegetativa, si que se vio afectado negativamente, aunque de manera irregular y poco previsible por ellas.

En yeros se observan también correlaciones muy difusas aunque moderadamente significativas cuando se estudia el rendimiento como variable dependiente. Si se introduce como variable dependiente la producción de paja, las correlaciones son altamente significativas y más estrechas, especialmente si se consideran por técnicas o variedades. Se puede decir que en nuestras condiciones los yeros han presentado una mayor sensibilidad a la presencia de arvenses en lo que se refiere a la formación de biomasa, aunque no respecto al rendimiento, lo que supone una cierta desconexión entre la cantidad de paja y el rendimiento, aunque no tan severa como la que han presentado las vezas.

Haciendo una comparación cualitativa entre los valores medios de rendimiento de los cultivos y la presencia de arvenses (tablas 4.6.2 y 4.6.3), también se observa la independencia entre ambos parámetros comprobada matemáticamente con el análisis de regresión lineal.

En avena se comprueban los siguientes aspectos:

- El primer año existió superior densidad y biomasa de arvenses. No existieron diferencias interanuales de rendimiento
- Las técnicas no presentaron diferencias en arvenses mientras que en rendimientos las LP resultaron las menos productivas.

- En variedades, Byzantina resultó más infestada de arvenses y Chapline fue la más productiva (Tablas 4.6.1 y 4.6.2).

En cebada:

- El primer año hay una superior densidad y biomasa de arvenses mientras que no hay diferencias interanuales de rendimientos.
- En técnicas, las LP presentan más arvenses que el resto de técnicas de siembra solo en febrero del primer año, mientras que esta técnica es claramente la menos productiva los dos años.
- En variedades, Garbo es a la vez la más productiva y la que menor biomasa de arvenses presenta habiendo ejercido un control especialmente claro en la especie dominante *Papaver roheas*.

Tabla 4.6.2. Resumen de diferencias encontradas en la densidad y biomasa de arvenses para los diferentes tratamientos y los distintos cultivos.

Arvenses				
	Avena	Cebada	Veza	Yeros
Año	Máximas densidad y biomasa el primer año	Máxima biomasa el primer año	Máximas densidad y biomasa el primer año	Máximas densidad y biomasa el primer año
Técnica	Sin diferencias	LP: Máxima biomasa solo en febrero 2007	Sin diferencias	Sin diferencias
Variedad	Byzantina: Máxim. densidad y biomasa en 2006-07	Garbo: Mínim. densidad y biomasa en 2006-07	Senda: Menor densidad en febrero de 2006-07	Sin diferencias
Cultivo	Máxima densidad Máxima biomasa	Mínima densidad Mínima biomasa		

Tabla 4.6.3. Resumen de diferencias encontradas en los rendimientos para los diferentes tratamientos y los distintos cultivos.

Rendimiento				
	Avena	Cebada	Veza	Yeros
Año	Sin diferencias	Sin diferencias	Máximo rendimiento el primer año	Mínimo rendimiento el primer año
Técnica	LP: Mínimo rendimiento	LP: Mínimo rendimiento	LP: Mínimo rendimiento	LP: Mínimo rendimiento
Variedad	Chapline: Máximo rendimiento	Garbo: Máximo rendimiento	Senda: Máximo rendimiento	Sin diferencias

En veza:

- La presencia de arvenses y los rendimientos son mayores el primer año, lo que concuerda con el análisis de regresión ya comentado.
- Entre técnicas no hay diferencias en los niveles de presencia de arvenses mientras que las LP son claramente menos productivas.
- Entre variedades, la variedad Senda solo presentó menos densidad de arvenses en febrero de 2007 mientras que fue globalmente más productiva.

En yeros:

- Hay una mayor presencia de arvenses el primer año que coincide con un menor rendimiento.
- En cuanto a técnicas, no hay diferencias en presencia de arvenses mientras que las LP son las menos productivas.
- No hay diferencias entre variedades, ni en arvenses ni en rendimientos.

4.6.1. Discusión general sobre los resultados de arvenses y rendimientos

La correlación entre la presencia de arvenses y el rendimiento es un importante asunto de discusión que se presta a numerosos matices. Mason *et al.*, (2007a) presentan un amplio estudio de variedades de trigo obtenidas en Canadá a lo largo de un siglo de programas de mejora, y estudian entre otros factores la correlación existente entre rendimiento y biomasa de arvenses para cultivo convencional y orgánico (ecológico). Sus resultados arrojan una correlación negativa (R^2 : -0,73) entre biomasa de arvenses y rendimiento para las variedades cultivadas en ecológico, que por otro lado presentan producciones un 40% menores que las convencionales, en las que casi no hay arvenses y no hay correlación significativa entre éstas y el rendimiento. Sin embargo, si analizamos algunos pormenores del estudio, estos resultados presentan fuertes incertidumbres. En primer lugar, tratándose de un clima calificable de semiárido, - precipitación media anual en torno a 350 mm- eliminan de los resultados finales, y por tanto de la regresión, los datos obtenidos en 2002, en una fuerte sequía en la que los rendimientos en ecológico fueron bajos (1200 kg ha^{-1} de media) pero netamente superiores a los convencionales (800 kg ha^{-1}). En estos ambientes, sin embargo, hay que incluir la sequía extrema como parte de los ciclos productivos, y no como elementos excepcionales. En segundo lugar, de las parcelas que llaman ecológicas, solamente una parte eran certificadas, y fueron finalmente eliminadas de los resultados por problemas técnicos, quedando como “manejo orgánico” una serie de

parcelas que solo un año antes habían dejado de ser tratadas de modo convencional. En tercer lugar, y como consecuencia de lo anterior, la presencia de arvenses en las parcelas ecológicas fue muy intensa, con una media de biomasa de 133 g m^{-2} -en nuestros ensayos la media global fue de 73 g m^{-2} incluyendo un año que se considera muy malo en este aspecto-, por lo que se trata de parcelas en las que el banco de semillas está descontrolado como resultado de haber dejado de usar las técnicas convencionales sin haber aplicado las técnicas ecológicas durante un periodo suficientemente largo para que hagan efecto. Por todas estas salvedades, parece que no pueden considerarse representativos los resultados que se presentan, que contrastan además con unas parcelas sembradas en convencional, con ausencia casi total de arvenses y por tanto de correlación de estas con el rendimiento. Es por todas estas razones que la alta correlación encontrada por Mason no confronte directamente la falta de correlación observada en nuestros ensayos.

Otros autores presentan resultados opuestos a los de Mason y más coherentes con los nuestros. Por ejemplo Poutala (1993) observa diferencias significativas en el rendimiento de cultivares de trigo en manejo convencional atribuibles a arvenses, mientras que los mismos cultivares en ecológico no presentan tales diferencias. Lacasta *et al* (2007) en un ensayo de larga duración -10 años- en parcelas sin fertilizar, comparando la escarda química con el pase de grada, las líneas pareadas y la ausencia de escarda, observa cómo los valores medios finales de cubrimiento de arvenses con escarda química son la cuarta parte de los otros tres métodos, mientras que el rendimiento es solamente un 5% superior. Podría decirse que en sistemas que presentan factores limitantes del crecimiento, como son las precipitaciones y/o los nutrientes si se trata de sistemas no fertilizados, la cobertura natural de arvenses está escasamente correlacionada con los rendimientos a medio y largo plazo, siempre que el banco de semillas esté ya bajo control y a pesar de posibles altibajos provocados por el clima. También esto coincide con los resultados que se presentan aquí, como se ha podido apreciar en los estudios de regresión.

La relación entre las arvenses y los cultivos es muy compleja. El rendimiento final es resultado de una tupida red de interferencias entre factores de distinto signo e intensidad, algunos de los cuales pueden actuar incluso en sentidos contrarios simultáneamente, lo que hace muy difícil predecir que va a suceder incluso cuando se tienen razonablemente estabilizados muchos de ellos. Los ensayos en campo y con toda la flora espontánea existente son los que presentan mayores desviaciones del antagonismo lineal esperable, por lo que son comunes las pruebas en invernadero o

Capítulo 4. Resultados y discusión

bien la infestación controlada en campo, es decir, con densidades conocidas de una sola arvense de especial significado para el cultivo en cuestión, lo que no siempre esclarece las conclusiones. Por ejemplo, Mason *et al.* (2007b) probaron la competitividad de variedades de trigo y cebada con la flora espontánea y con avena loca en densidades conocidas, obteniendo correlaciones más estrechas con las producciones en el primer caso, pero siempre con valores de R^2 inferiores a 0,5. Este mismo autor explica esas difusas correlaciones acudiendo a un concepto utilizado anteriormente por otros autores (Goldberg y Fleetwood 1987; Golgdberg y Landa 1991; Coleman *et al.*, 2001). Por un lado definen el “efecto competitivo”, que otros llaman “habilidad para competir” (Watson *et al.*, 2006), y por otro lado la “respuesta competitiva” que Watson llama “habilidad para resistir la competencia” y que puede entenderse como una tolerancia a las arvenses. Los cultivos con efecto competitivo tratan de impedir que las arvenses se desarrollen, los de respuesta competitiva centran su esfuerzo en “ignorar” la presencia de las arvenses adquiriendo los nutrientes, el agua y la luz que necesitan para crecer. Dado que no se explica como lo consiguen, lo que se hace en realidad es dar nombre a la variabilidad no explicada por efecto supresivo, que a menudo es mayor que la explicada.

En nuestro caso la avena parece seguir la estrategia de tolerancia, pues su producción es independiente de la cantidad de arvenses presentes. El resto de los cultivos, con sus bajas correlaciones entre presencia de arvenses y rendimientos, también parecen participar ampliamente de esta estrategia.

Está generalmente aceptado que las variedades con mayor efecto competitivo son aquellas relativamente altas, con mayor índice de área foliar y de crecimiento más rápido (Watson *et al.*, 2006; Didon 2002; Lamerle *et al.*, 1996). Estas características sin embargo pueden ir en contra de la productividad del cultivo, ya que autores como Peltonen-Sainio *et al.* (2008) encuentran correlaciones estrechas entre rendimientos e índice de cosecha, lo que confiere mayor productividad a las variedades enanas y semienanas (Figura 4.6.1). En ensayos en los que se comparan correlaciones entre rendimiento, talla, índice de área foliar y resistencia al aricado, Rassmussen *et al.* (2009) concluyen que la elección de cultivares en función de su capacidad competitiva con las arvenses entra en contradicción con la elección en base a los rendimientos finales.

En nuestro caso no se han encontrado correlaciones significativas entre los rendimientos y el índice de cosecha de ninguno de los cultivos (datos no mostrados),

pero la variedad Garbo de cebada, que es semienana, ha sido la más productiva, lo cual concuerda con la observación de que las variedades de porte bajo producen mayores rendimientos. Sin embargo, esta misma variedad ha sido la que ha presentado mayor efecto competitivo sobre las arvenses, lo que no concuerda con la observación realizada por otros autores de correlacionar la talla baja con una mayor dificultad para competir con las arvenses. Esto no quiere decir, una vez más, que estos resultados contradigan el principio, sino que otros muchos factores ejercen su influencia, de tal forma, que en una combinación determinada de los mismos se puede invertir el sentido de la tendencia general observada. Esto explica como distintos autores pueden obtener resultados opuestos estudiando un mismo efecto. Por ejemplo, estudiando la influencia del laboreo y las rotaciones, Fleix y Owen (1999) encuentran que ninguno de los dos tuvieron influencia en el banco de semillas, Barberi y Cascio (2001) encontraron que los laboreos tuvieron mayor influencia que las rotaciones en la variabilidad y tamaño del banco de semillas, lo contrario que Cardina et al (2002). Lacasta et al.,(2004) y Chao et al., (2002) coinciden con Anderson (1997), y Moyer et al., (1994) en que las rotaciones es un elemento capital en el control de arvenses. Doucet et al., (1999) y García-Muriedas et al.,(1997) sin embargo observaron que la efectividad de las rotaciones se basó fundamentalmente en las distintas labores, fechas de siembra y de cosecha que pudieran llevar apareadas.

Las condiciones meteorológicas interanuales influyen decisivamente, pudiendo pasar desde densidades despreciables a otras elevadas y viceversa de una campaña a otra, lo cual coincide con nuestros resultados. En estudios de agricultura de precisión en secano con muestreos exhaustivos en retícula sobre grandes parcelas, Nordmeyer (2006) encuentra importantes variaciones interanuales en la localización de los corros de arvenses, y variaciones más intensas aún en las densidades de dichos corros, que el autor atribuye fundamentalmente a la meteorología. Esta influencia de la meteorología en la presencia de arvenses es multifactorial, e incluye las modificaciones en las labores provocadas por el clima, como por ejemplo el retraso de la siembra o incluso la imposibilidad de sembrar en otoño por causa del exceso de precipitaciones.

La densidad de siembra ha sido una práctica recomendada para el control de arvenses bajo cualquier tipo de manejo. En agricultura convencional, Paynter et al., (2009) encuentran correlaciones de densidad de siembra con arvenses y producciones, pero sus resultados no son comparables a los nuestros por tratarse de monocultivo en competencia provocada artificialmente con ballico (*Lolium rigidum*). En agricultura

Capítulo 4. Resultados y discusión

integrada Brennan *et al.*, (2009) han encontrado correlaciones entre la densidad de siembra y la biomasa de arvenses, pero no con los rendimientos. En agricultura ecológica se recomienda especialmente esta práctica (Zaragoza y Cirujeda, 2004). Lacasta *et al.*, (2004), en un ensayo de larga duración (11 años) en condiciones muy similares a las nuestras, pero aplicando abonado mineral, comparan tres densidades de siembra (80, 160, y 240 kg ha⁻¹) obteniendo para la rotación cebada-veza la máxima producción media (2.500 kg ha⁻¹) a una densidad de siembra de 160 kg ha⁻¹. Así pues, las densidades de siembra, al menos en condiciones semiáridas, no parecen guardar una clara correlación con los rendimientos, como ha sucedido en nuestros ensayos, en los que no se han encontrado diferencias significativas de las parcelas sembradas en alta densidad con el resto.

La fertilización favorece al cultivo en el proceso de competencia con las arvenses, dada su mayor efectividad para absorber nutrientes y transformarlos en biomasa (Chao *et al.*, 2002). Desde el punto de enfoque opuesto esto supone que en cultivos en régimen oligotrófico, como los de nuestros ensayos, habrá tendencia a una mayor presencia de arvenses que en un cultivo fertilizado, siempre que los bancos de semillas y las condiciones ambientales sean similares. Sin embargo Zaragoza *et al.* (1998) a partir de los datos obtenidos en un ensayo en que se pusieron a prueba diferentes tipos de escarda y de fertilización, encontraron que solo en tres de las doce localizaciones hubo disminuciones en los rendimientos atribuibles a la menor eficiencia del cultivo en su competencia con las arvenses por causa de la escasez de nutrientes.

En nuestros ensayos las parcelas de LP no han presentado diferencias en incidencia de arvenses con los sistemas que no incluyen aricado. Para Anderson (1997), y Moyer *et al.*, (1994), la aplicación de sistemas de escarda mecánica en monocultivo puede ser más una fuente de problemas que de soluciones. En condiciones muy similares a las nuestras, Lacasta *et al.*, (2007) encontraron que sistemas de escarda mecánica como el aricado de líneas pareadas o el pase de grada de púas flexibles tuvieron una efectividad similar a no escardar en lo referente a la presencia de arvenses, y si bien la escarda química fué más efectiva en este aspecto, esa efectividad no se vió reflejada en los rendimientos. Urbano *et al.*, 2006 observaron una discreta efectividad en el control de arvenses mediante aricado en líneas pareadas pero no tuvo reflejo en el rendimiento, que no difirió del testigo sin escardar.

El esquema de la figura 4.6.1 trata de resumir los principales factores implicados en la presencia de arvenses y su reflejo final en el rendimiento, con el fin de visualizar

aunque sea de forma muy parcial, el carácter multifactorial de las relaciones entre arvenses, cultivo, medio ambiente, y prácticas agrícolas, y la dificultad, que se convierte casi en una imposibilidad, de encontrar correlaciones claras entre parejas de factores concretos, pues todos ellos se encuentran modulados entre sí.

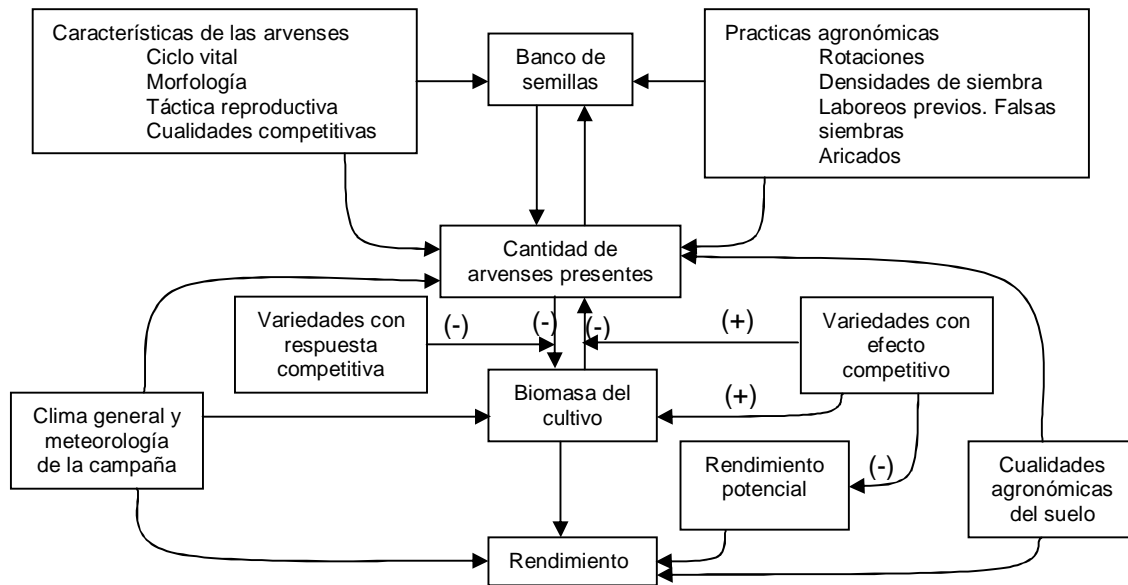


Figura 4.6.1. Resumen de interacciones entre algunos factores que determinan la presencia de arvenses y su reflejo en el rendimiento del cultivo. Las variedades con efecto competitivo actúan potenciando el efecto supresor del cultivo sobre las arvenses, mientras que las variedades con respuesta competitiva actúan reduciendo el efecto competidor de las arvenses sobre el cultivo. Pero las variedades con efecto competitivo, exceptuando las que lo fundamentan en alelopatías, basan su acción en un mayor tamaño e índice foliar, lo cual se contrapone a una comprobada correlación entre la productividad y el índice de cosecha, que hace más productivas a las variedades enanas y semienanas.

Capítulo 5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Técnicas de siembra

1. En las condiciones del ensayo, las técnicas de siembra no han tenido ninguna influencia distintiva sobre los parámetros químicos edáficos, ni sobre la presencia de arvenses, pero la técnica de líneas pareadas perjudicó el rendimiento en los cuatro cultivos.

Evolución de los parámetros químicos edáficos.

2. Durante los cinco años del ensayo, los contenidos de nutrientes en el suelo han permanecido estables, en valores oligotróficos pero suficientes para mantener los rendimientos medios habituales de los secanos en las condiciones agroecológicas de la zona, lo que se explica porque el factor limitante decisivo es el climático.
3. Las leguminosas han producido una acidificación relativa del suelo y han duplicado los valores de sodio con respecto a los cereales, los yeros han enriquecido el suelo en N y lo han empobrecido en P, los cereales han aumentado la relación C/N, la avena la materia orgánica, el K y los carbonatos. Todo ello refuerza la conveniencia de la rotación frente al monocultivo.

Biología del suelo

4. En los años de sequía en que los pasillos no son ocupados por el cultivo, la siembra en líneas pareadas disminuye la actividad biológica general, lo que ha quedado reflejado en todos los índices analizados.
5. Los valores de actividad biológica y de UFCs de los microorganismos de los ciclos del nitrógeno y del carbono presentan fuertes variaciones estacionales ligadas probablemente al clima, a los restos de cosecha y a los exudados radiculares de los cultivos.
6. El predominio de microorganismos amonificantes frente a los nitritantes y nitratantes indica que el ciclo del nitrógeno canaliza este elemento hacia las plantas en forma de amonio, que al absorberlo acidifican la rizosfera, lo que facilita la movilización de fósforo a partir de sus formas insolubles.

Adaptación de las variedades al agrosistema.

7. En avena la variedad Chapline presentó los rendimientos más elevados y estables.
8. En cebada, la variedad Garbo presentó los rendimientos más elevados y la menor presencia de arvenses.
9. En veza, Senda fue globalmente la variedad más productiva, aunque se vio muy afectada por las condiciones climáticas, beneficiándole especialmente el tiempo húmedo a lo largo de todo el ciclo vegetativo, mientras que Aitana es la que mostró menor presencia de arvenses.
10. La plasticidad fenotípica en cuanto a la formación de frutos presentó gran variabilidad en las variedades de veza, siendo Amethyste la de menor plasticidad, lo que se vio reflejado en un aumento significativamente menor de la formación de frutos cuando las condiciones ambientales lo propiciaban, ya sea por efecto de la meteorología como por la siembra en líneas pareadas.
11. No se observaron diferencias entre las variedades ensayadas de yeros, lo que resulta esperable dado su carácter de ecotipos más que de variedades.

Arvenses.

12. Se han observado notables diferencias interanuales en la diversidad de las comunidades de arvenses, atribuibles a las condiciones climáticas y al efecto de muestreo por la disminución del número de efectivos totales.
13. Solo se aprecia un efecto significativo de la variedad del cultivo sobre la dominancia de especies de malas hierbas en la cebada, variedad Garbo, que reduce la población de *Papaver roheas*.
14. Se han observado grandes diferencias interanuales de densidad y biomasa de arvenses. Los aumentos son atribuibles a las condiciones climáticas y las disminuciones, tanto al clima como a los sistemas de control aplicados.
15. En condiciones más propicias para las arvenses que para los cultivos, la cebada ha sido la menos infestada, mientras que en condiciones más favorables a los cultivos la presencia de arvenses se reduce en todos los cultivos y se homogeneiza entre ellos.
16. El primer año hubo mayor presencia de arvenses en los cuatro cultivos sin que ello haya supuesto menores rendimientos en avena y cebada, aunque si en yeros.
17. En veza existió una correlación positiva entre biomasa de arvenses y la producción de grano, pero negativa con la producción de paja.

18. Solo las variedades Garbo de cebada y Senda de veza han destacado frente al resto por un mayor rendimiento y una menor presencia de arvenses.

Capítulo 6. Bibliografía

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V., CRUZ, L., SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D., PÉREZ-ALEGRÍA, L., 2007. *Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed*. Applied Soil Ecology 35, 1, pp 35-45
- ALBIACH, M.R., CANET, R., RIBÓ, M., POMARES, F., 2003. *Determinación del Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo*. García, Gil, Hernández y Trasar Eds. Mundiprensa, pp 247-281
- ALEF, K., 1995. *Soil Respiration*. I: A. Kassen and P. Nannipieri (Eds). Methos in Applied Soil Micr. And Bioch.. Academic Press. Harcourt Brace & Co Publishers. London, 214-219
- ALKON A. H., 2008. *From value to values: sustainable consumption at farmers markets*. Agriculture an human values 25 (4) Dordrecht: Springer sciences+Business Media, 487-498
- ALVEAR, M., ROSAS, A. ROUANET, J.L. y BORIE F., 2005. *Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile*. Soil and Tillage Research 82, 195-202.
- ALTIERI, M.A., 1995. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. Westview Press.
- ALVEAR, M., LOPEZ, R., ROSAS, A. y ESPINOZA, N., 2006. *Efecto de la aplicación de herbicidas en condiciones de campo sobre algunas actividades biológicas*. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 6, 64-76.
- ANDERSON, J.P.E., 1982. *Soil respiration*. In: Miller RH (ed) Methods of soil analysis Part 2, chemical and microbiological properties. Am Soc Agron, Madison, pp 831–871
- ANDERSON, R.L., 1997. *Cultural systems can reduce reproductive potential of winter annual grasses*. Weed technology, 11, 608-613
- ANDREONI, V., CAVALCA, L., RAO, M. A., NOCERINO, G., BERNASCONI, S., DELL'AMICO, E., et al. 2004., *Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils*. Chemosphere 57: 401-412.
- ATLAS, R. M.; BARTHA, R., 2002. *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. Addison Wesley
- BARBERI, P.; CASCIO, B., 2001. *Long-term tillage and crop rotation effects on weed seed bank size and composition*
- BARCELÓ, J., NICOLÁS, G., SABATER, B., SANCHEZ, R., 2000. *Fisiología Vegetal*. Ed Pirámide. cap. 8.
- BATJES N.H., 1997. *A word data set of derived soil properties by FAO-UNESCO unit for global modelling*. Soil Use Manage. 13, 9-16
- BENAIGES, C. 1964. *Agricultura Productiva*. Libros de Lance. Madrid
- BAUHUS, J.; BARTEL, R., 1995. *Mechanisms for carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps. II. The role of soil microbial biomass*. Plant and Soil 168-169, 593-600
- BERRY, P.M., STOCKDALE, E.A., SYLVESTER-BRADLEY, R., PHILIPS, K.E., SMITH E., LORD, I., WATSON, C.A. FORTUNE, S., 2003. *N, P, and k budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK*. Soil Use and Management vol 19, nº2, pp 112-118.
- BING-CHENG YUAN, ZI-ZHEN LI, HUA LIU, MENG GAO AND YAN-YU ZHANG., 2007 *Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions* . Applied Soil Ecology , 35, 2, pp 319-328

Capítulo 6. Bibliografía

- BIRKHOFFER, K., BEZEMER, T., BLOEM, J., BONKOWSKY, M., 2008 *Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity*. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 2297-2308
- BLOEM, J., RUITER, P., BOWMANN, L., 1997. *Soil food webs and nutrient cycling in agrosystems*. *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- BOLAN N.S., HEDLEY M.J. and WHITE R.E., 2006. *Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures*. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand
- BONMATÍ, M., JIMENEZ, P., ÁLVAREZ, H., CALERO, E., JULIA, M., NUÑEZ, E., 2000. *Evolución de las actividades enzimáticas en el proceso restaurador de dos suelos procedentes de la explotación de canteras*. En *“Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España*. CEBAS-CSIC, pp209-293
- BOUTIN, C., BARIL, A., MARTIN P.A., 2008 *Plant diversity in crop fields and woody edgerows of organic and conventional farms in contrasting landscapes*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 123 (1/3) Amsterdam : Elsevier, 185-193
- BRECKE, B.J., STEPHENSON, D.O., 2006. *Weed control in cotton (Gossypium hirsutum) with postemergence applications of Trifloxysulfuron-sodium-1*. *Weed Technology* 20(2):377-383. 2006
- BRENNAN, E.B., BOYD, N.S., SMITH, R.F., FOSTER, P., 2009. *Seeding Rate and Planting Arrangement Effects on Growth and Weed Suppression of a Legume-Oat Cover Crop for Organic Vegetable systems*. *Agronomy Journal*, 101, 979-988.
- BROHON, V., DELOLME, C., GOURDON, R., 2001. *Complementarity of bioassays and microbial activity measurements for the evaluation of hydrocarbon-contaminated soils quality*. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 883-891
- BROWN, L.R. 1997. *Can we raise grain yields fast enough?* *World Watch*, July/August. Pp. 8-17.
- BUCKLEY, D. H. Y SCHMIDT, T. M. 2003. *Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems*. *Environ. Microbiol.* 5: 441-452.
- BÜRGMANN, H., WIDMER, F., SIGLER, W. V. Y ZEYER, J. 2003. *mRNA extraction and reverse transcription-PCR protocol for detection of nifH gene expression by Azotobacter vinelandii in soil*. *Appl. Environ. Microbiol.* 69: 1928-1935.
- CAI LILI; YAN SHAOHUA, SUN LIANFEI, HE WENLONG., 2008 *Study on cucumber yield and quality an soil nutrients under three diferent cultural practices*. *Acta Agriculturae Shangai* 24(4) Shangai: Editorial Office of Acta Agriculturae Shangai, 51-54
- CARDINA, J., HERMS, C.P., DOOOHAN, D.J., 2002. *Crop rotations and tillage systems effects on weed seedbanks*. *Weed science*, 50, 448-460.
- CARIELLO, M.E., CASTAÑEDA, L., RIOLOBO, I. GONZALEZ, J. 2007. *Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos solidos urbanos*. *R.C. Suelo. Nutr. Veg.* V. 7 n. 3: 26:35
- CHAO, J., LACASTA, C., ESTALRICH, E., MECO, R., GONZALEZ-PONCE, R. 2002. *Estudio de la flora arvense asociada a los cereales de ambientes semiáridos en rotación de cultivos de secano*. V congreso SEAE y Iberoamericano de agroecología. 733-740
- CLARCK, M.S., HOWATH, W.R., SHENNAN, C., SCOW, K.M., 1998 *Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices*. *Agronomy Journal* 90 (5), 662-671

COCHRAN, V.L., ELLIOT, L.F., LEWIS, C.E., 1989. *Soil microbial biomass and enzyme activity in subarctic agricultural and forest soils*. *Biology and Fertility of soils*. 7, 283-288.

COLEMAN, R.D., GILL, G.S., REBETZKE, G.J., 2001. *Identification of quantitative trait loci for traits conferring competitiveness in wheat*. *Aust. Jour. Agric. Res.*, 52, 1235-1246.

CONNANT, R.T., KLOPATEK, J.M., KOPLATEC, C.C., 2000. *Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems*. *Soil Science Society of America Journal* 64, 383-390

DAKORA, F.D., PHILLIPS, D.A., 2000. *Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments*. In *Food security in nutrient-stressed environments: exploring plants genetic capabilities*. Ed. J.J. Adu-Gyamfi, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

DE ALBA, S., LACASTA, C., BENITO, G., PEREZ-GONZALEZ, A. 2001 *Influence of soil management on water erosion in a Mediterranean semiarid environment in Central Spain*. *Conservation Agriculture. A Worldwide Challenge*. I World Congress on Conservation Agriculture, Volumen II

DENG, S., and TABATABAI, M., 1996. *Effects of tillage and residues management on enzyme activity in soil. I. Amidohidrolases*. *Biology and Fertility of Soils* 22:202- 207.

DERKSEN, D.A., ANDERSON, R.A., BLACKSHAW, R.E., MAXWELL, B. 2002. *Weed dynamics and management strategies for cropping systems in the Northern Great Plains*. *Agronomy journal*, 94: 174:185.

DICK, R. P., RASMUSSEN, P. E. and KERLE, E. A., 1988 *Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheatfallow system*. *Biology & Fertility of Soils* 6:159-164.

DIDON, U.M.E. 2002. *Variation between barley cultivars in early response to weed competition*. *Journal of agronomy and crop Science*. 188, 176-184.

DOMINGUEZ, J.M., SHIFTER, I. 1995. *Las arcillas, el barro noble*. Fondo de Cultura Económica. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. UAM. Edición digital

DOUCET, C., WEABER, S.E., HAMILL, A.S., ZHANG, J. 1999. *Separating the effects of crops rotations from weed management on weed density and diversity*. *Weed Science* 47, 729-735.

DUINEVELD, B. M., KOWALCHUCK, G. A., KEIJZER, A., VAN ELSAS, J. D. Y VAN VEEN, J. A. 2001. *Analysis of bacterial communities in the rhizosphere of Chrysanthemum via denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified 16S rRNA as well as DNA fragments coding for 16S rRNA*. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 172-178.

EL FANTROUSSI, S., VERSCHUERE, L., VERSTRAETE, W. Y TOP, E. M. 1999. *Effect of phenylurea herbicides on soil microbial communities estimated by analysis of 16S rRNA gene fingerprints and community-level physiological profiles*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 982-988.

ELFSTRAND, S., HEDLUND, K .AND MÅRTENSSON A., 2006 *Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring*. *Applied Soil Ecology* 35, 1, Mar 2007, pp 610-621

ELFSTRAND, S., BÅTH, B., AND MÅRTENSSON, A., 2007. *Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek*. *Applied Soil Ecology* 36, 1, pp 70-82

Capítulo 6. Bibliografía

- ERIKSEN, J., JENSEN, L.S., 2001. *Soil respiration, nitrogen mineralization and uptake in barley following cultivation of grazed grassland*. *Biology and Fertility of Soils* 33, 139-145
- FERNÁNDEZ, L. A., ZALBA, P., ANAHÍ, M., SAGARDOY, M. A., 2005. *Bacterias solubilizadoras de fosfato en la región sojera argentina*. *Ciencia del suelo* v.23, n 1 Buenos Aires
- FLEIX, J., OWEN, M.D.K., 1999. *Weed population dynamics in lands removed from the conservation reserve program*. *Weed Science*, 47, 511-517.
- GAHOONIA T.S Y NIELSEN N.E., 1992 *Control of pH at the soil-root interface*. *Plant Soil* 140, 40-54
- GANESHAMURTHY, A.N., 2009. *Soil changes following long-term cultivation of pulses*. *The Journal of Agriculture Science*. Cambridge University Press
- GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., 1997. *Biological and Biochemical parameters in derect soils subject to erosion process*. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 171-177
- GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., COSTA, F., 1999. *Suelos erosionados: bioindicadores de su calidad biológica y bioquímica*. *Boletín de la Sociedad española de la Ciencia del Suelo*, 4, 165-175
- GARCÍA, C., GIL, F., HERNÁNDEZ, T., TRASAR,C. (Eds.), 2003. *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos del suelo*.Mundiprensa.
- GARCIA-ALVAREZ, A. y IBÁÑEZ, J., 1994. *Seasonal fluctuations and crop. Influence on microbiota and enzyme activity in fully developed soils of Central Spain*. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 8:161-178.
- GARCÍA-MARÍ, F., FERRAGUT, C., MARZAL,C., LABORDA, R., 1987. *Contribución al conocimiento de los ácaros fitoseidos y tetraníquidos en los viñedos valencianos*. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal*. Vol 2(1) 89-95
- GARCÍA-MURIEDAS, G., ESTALRICH, E., LACASTA, C., MECO, R. 1997. *Efecto de las rotaciones de cultivos herbáceos de secano sobre las poblaciones de adventicias*. *Actas del congreso de la Sociedad española de malherbología*, 33-36
- GAWRONSKA, A., KULINSKA, D., LENART, S., and JASKOWSKA, H., 1992. *The effect of the maize monoculture on the biological properties of soil and on the yields of plants*. *Polish Journal Soil Science* 25:89-94.
- GIAI C. AND BOERNER, R.E.J., 2007. *Effects of ecological restoration on microbial activity, microbial functional diversity, and soil organic matter in mixed-oak forests of southern Ohio, USA* . *Applied Soil Ecology* , 35 2, February 2007, pp 281-290.
- GIRVAN, M. S., BULLIMORE, J., BALL, A. S., PRETTY, J. N. Y OSBORN, A. M. 2004. *Responses of active bacterial and fungal communities in soils under winter wheat to different fertilizer and pesticide regimens*. *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 2692-2701.
- GOLLANY, H.T., SHUMACHER, T.E., RUE, R.R., LIU, S.Y., 1993. *A carbon dioxide microelectrode for in-situ CO₂ measurement*. *Microchem. J.*, 43, 42-49.
- GOLDBERG, D.E., FLEETWOOD, L., 1987. *Competitive effect and response in four annual plants*. *Journal of Ecology*, 75, 1131-1143
- GOLDBERG, D.E., LANDA, K., 1991. *Competitive effect and response: Hierarchies and correlated traits in the early stages of competition*. *Journal of ecology*, 79, 1013-1030.

- GROFFMAN, P. M., HANSON, GC., KIVIAT, E., and STEVENS, G. 1996. *Variation in microbial biomass and activity in four different wetland types*. Soil Science Society of American Journal 60:622-629.
- GUZMAN, G.I., ALONSO, A., 2004. *Proceso de transición a Agricultura Ecológica*. Conocimientos técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica. Ed. Juana Labrador. SEAE, MAPA, pp: 35-41
- GUZMAN, G.I., ALONSO, A.M., 2008 *A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain*. Agricultural Systems 98 (3) Oxford: Elsevier, 167-176
- HAFEZ, Y.M., 2008 *Efectiveness of antifungal black seed oil against powdery mildews of cucumber (Podosphaera xanthii) and barley (Blumeria graminis f.sp hordei)*. Acta Biológica Szegediensis 52 (1) Szeged: University of Szeged, 17-25)
- HERENCIA, J.F., RUÍZ, J.C., MELERO,S., GARCÍA GALAVÍS, P.A., MAQUEDA, P., 2008. *A short term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments*. Journal of Agricultural Science 146 (6) Cambridge: Cambridge University Press, 677-687
- HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C., 2003. *Estimación de la respiración microbiana del suelo*. García, Gil, Hernández y Trasar Eds. Mundiprensa.pp 311-346
- HINSINGER, P., 1998 *How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere*. Advances in Agronomy 64, 225-265
- HINSINGER, P., 2001. *Bioavailability of soil inorganic P in the rizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review*. Plant and soil 237: 173-195
- HINSINGER, P. Y GILKES, R.J., 1997. *Dissolution of phosphate rock in the rizosphere of five plants grown in an acid P-fixing mineral sustrate*. Geoderma 75, 231-239
- HINSINGER, P., GOBRAN, G.R., GREGORY, P.J., WENZEL, W.W., 2005. *Rizofre geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes*. 2005. New Phytologist 168, 293-303.
- HOAD, S., TOPP, C., Davies, K., 2008. *Seleccction of cereals for weed suppression in organic agriculture: a method based on cultivar sensitivity to weed growth*. Euphytica 163, 355-366
- HOBERG, E., MARSCHNER, P. LIEBEREI, R., 2005. *Organic acid exudation and pH changes by Gordonia sp. And Pseudomonas fluorescens grown with P adsorbed to goethite*. Microbiological Research, 170, 167-177.
- HUGENHOLZ, P., GOEBEL, B.M., PACE, N.R., 1998. *Impact of culture- independent studies on the emerging phylogenetic view of bacterial diversity*. Journal of Bacteriology,180, 4765-4774.
- IFOAM. 2009 (International Federation of Organic Agriculture Movements) *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2009*. Ed.: Helga Willer and Lukas Kilcher . Geneva.
- INSAM, H., 2001. *Developments in soil microbiology since the mid 1960s*. Geoderma, 100, 389-402
- JAILLARD, B., PLASSARD, C., HINSINGER, P, 2001. *Measurements of H⁺ fluxes and concentrations in the rizosphere*. In soil acidity hand-book. Ed. Z.Rengel. Marcel and Dekker, Inc. New York, USA
- JENKINSON, D.S., POWLSON, D.S., 1976. *Effects of Biocidal Treatments on Metabolism in Soil .V. A method for measuring soil biomass*. Soil Biology & Biochemistry, 8, 209-213.

Capítulo 6. Bibliografía

JENKINSON, D.S., LADD, J.N., 1981. Microbial Biomass in soil: Measurement and turnover. Soil Biochemistry. F.A. Puly, J.N. Ladd (Eds.). Dekker. New York, 5, 415-471.

JENNY, H., 1941. *Factors of soils formation. A system for quantitative pedology*. Mc Graw-Hill. Libro disponible en internet reeditado por Dover Publications, inc. 1994 y comentado por R. Amundson.

JOERGENSEN, R., and EMMERLING, C., 2006. *Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils*. Journal Plant Nutrition Soil Science 169, 295-309

JOHNSON, J.F., ALLAN, D.L., VANCE, C.P., WEIBLEN, P. 1996. *Root carbon –dioxide fixation by phosphorus-deficient Lupinus Albus: contribution to organic acids axudation by proteoid roots*. Plant Physiol 112, 19-30.

JUNGK, A., CLAASSEN, N. 1997. *Ion diffusion in the soil root system*. Adv. Agron. 61, 53-110.

KANDELER, E., TSCHERKO, D., and SPIEGEL, H., 1999. *Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different Tillage management*. Biology & Fertility of Soils 28: 343-351.

KIRK, G.J.D., 1999. *A model of phosphate solubilization by organic acid excretion from plant roots*. Eur. J. Soil Scie., 50, 369-378

KOGA, H., YAMAGATA, M., MATSUMOTO, S., AE, N., 2001. *Evidence for direct organic nitrogen uptake by plants using specific tracer proteins*. W.J. Horstetal (Eds) Kluwer academics Publishers: Plant nutrition, food security and sustainability of agro-ecosystems. 212-213

KORSAETH, A., 2008. *Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping in a long-term field study*. Agriculture, Ecosystems & Environment 127 (3/4) Amsterdam : Elsevier 2008, 177-188

KUSKE, C. R., BARNS, S. M. Y BUSCH, J. D. 1997. *Diverse uncultivated bacterial groups from soils of the arid Southwestern United States that are present in many geographic regions*. Appl. Environ. Microbiol. 63: 3614-3621.

LABRADOR, J., 1997. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ministerio Agricultura y Pesca, Mundi-Prensa, Madrid.

LABRADOR, J. , PORCUNA, J.L., 2004. *Aproximación a las bases técnicas de la Agricultura Ecológica*. Conocimientos técnicos y productos para la agricultura y la ganadería ecológica. Ed Juana Labrador, SEAE, MAPA, pp 19-34

LACASTA, C; BELLO, A., 1989. *Análisis de los factores limitantes en los agrosistemas de cereales. Su proyección en Agricultura Biológica*. Ministerio de Agricultura Ponencias y comunicaciones del Congreso Internacional de Tecnologías Alternativas de Desarrollo. 34-43

LACASTA, C., 2003. *Alternativas al uso de herbicidas*. Fundamentos de Agricultura ecológica. Colección Ciencia y técnica nº 41. Eds de la Universidad de Castilla La Mancha. 175-193

LACASTA, C., MECO, R., ESTALRICH, E., MARTIN, L. 2004. *Interacción de densidades de siembra de cebada y rotaciones de cultivo sobre la flora arvense y rendimientos de cultivos*. VI Congreso SEAE. Almería. pp: 1481-1496

LACASTA, C., GARCÍA MURIEDAS, G., ESTALRICH, E., MECO, R., 1997. *Control mecánico de adventicias en cultivos herbáceos de secano*. Actas Congreso Sociedad española de malherbología. pp 37-40

- LACASTA, C., BENÍTEZ, M., MAIRE,N., MECO, R., 2006a. *Efectos de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos*. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. T 110
- LACASTA, C., BENÍTEZ, M., MAIRE,N., MECO, R., 2006b. *Estudio de diferentes parámetros bioquímicos del suelo con diferentes manejos de fertilidad y en un sistema cerealista de secano*.VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. T 112
- LACASTA, C., BENÍTEZ, M., MAIRE,N., MECO, R., 2006c. *Las rotaciones de cultivos en los agrosistemas de cereales y su influencia sobre diferentes parámetros bioquímicos*. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. T 152
- LACASTA, C., MECO, R., 2000. *Costes energéticos y ambientales de agrosistemas de cereales considerando manejos convencionales y ecológicos*. IV congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Córdoba
- LACASTA, C., ESTALRICH, E., MECO,R., BENÍTEZ, M., 2007. *Interacción de diferentes escardas y fertilizaciones sobre el control de la flora arvense y el rendimiento del cereal*. Congreao de la Sociedad española de malherbología, 197-202
- LAMERLE, D.; VERBREEK, B; COUSENS, R.D.; COOMBES, N.E., 1996. *The potential for selecting weeds varieties strongly competitives against weeds*. Weed Research 36, 505-513.
- LAMINE, C., BELLON, S., 2009. *Conversion to organic farming: a multidimensional research objet at the croosroads of agricultural andsocial sciences. A review*. Agronomy for Sustainable Development 29 (1) Les Ulis: EDP Sciences, 97-112
- LAUK, R., LAUK, E., 2008. *Pea-oat intercrops are superior to pea-wheat and pea-barley intercrops*. Acta Agriculturae Scandinavica. Section B Plant soil Sciences 58 (2) Basingstoke: Taylor & francis, 139-144.
- LIDE, D.R., 2007. *Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press inc. 88 ed.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J., 2002. *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. Ed. Mundi-Prensa.
- LLOYD, A.B., SHEAFFE, J., 1973. *Urease Activity in Soils*. Plant and Soil, 39, 1, 71-80
- LUDWIG, W., BAUER, S. H., BAUER, M., HELD, I., KIRCHHOF, G., SCHULZE, R., ET AL. 1997. *Detection and in situ diversity of representatives of a widely distributed new bacterial phylum*. FEMS Microbiol. Lett. 153: 181-190.
- MCCARTY, G.W., BRENMER, J.M., 1991. *Production of urease by microbial activity in soils under aerobic and anaerobic conditions*. Biology and Fertility of Soils, 11, 3, 228-230.
- MARSCHNER, P., CROWLEY, D. Y YANG, C. H., 2004. *Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type*. Plant Soil 261: 199-208.
- MARSCHNER, P., 2007. *Soil microbial community structure and function assessed by FAME, PLFA and DGGE. Advantages and limitations*. Advances Techniques in Soil Microbiology. A. Varma & R. Oelmüller (eds). Springer-Verlag, Berlin.
- MARTIN-CLOSAS, L., BACH, M.A., PENACHO, A.M., 2008. *Biodegradable mulching in a organic tomato production system*. Acta Horticulturae (767) Leuven: International Socity for Horticultural Science (ISHS), 267-274
- MARZADORI, C., FRANCIOSO, O., CIAVATTA, C., GESSA,C., 2000. *Influence of the content of heavy metals anmolecular weight of the humic acid fractions on the activity and stability of urease*. Soil Biology and Biochemistry 32, 1893-1898

Capítulo 6. Bibliografía

MASON, H., NAVABI, A., FICK, B., O'DONOVAN, J., SPANER, D., 2007a. *The weed-competitive Ability of Canada Western Red Spring Wheat Cultivars Grown under Organic Management*. Crop Science 47, 1167-1176

MASON, H., NAVABI, A., FICK, B., O'DONOVAN, J., SPANER, D., 2007b. *Cultivar and seeding rate effects on the competitive ability of spring cereals grown under organic production in northern Canada*. Agronomy Journal 99: 1197-1207.

MARSCHNER, P., 2007. *Soil microbial community structure and function assessed by FAME, PLFA and DGGE. Advantages and limitations*. Advances Techniques in Soil Microbiology. A. Varma & R. Oelmüller (eds). Springer-Verlag, Berlin.

MEISTERLING, K., SAMARAS, C., SCHWEIZER, V., 2009. *Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat*. Journal of Cleaner Production 17(12) Amsterdam: Elsevier, 222-230

MERA, M. Y ROUANET, J.L., 2003. *Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales*. In: E. Acevedo (ed) Sustentabilidad de cultivos anuales: Cero labranza y manejo de rastrojos, 135-156. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago. Serie Ciencias Agronómicas N°8. 184 pp.

MECO, R., LACASTA, C., ESTALRICH, E, Y GARCÍA MURIEDAS, G., 2000. *La Agricultura Ecológica en cereales, una alternativa para zonas semiáridas*. Actas del III Congreso SEAE, 83-94

MILLING, A., SMALLA, K., MAIDL, F. X., SCHLOTTER, M. Y MUNCH, J. C., 2004. *Effects of transgenic potatoes with an altered starch composition on the diversity of soil and rhizosphere bacteria and fungi*. Plant Soil 266: 23-39.

MOORE, J.C., McCAAN, K., DE RUITER, P.C., 2007. *Soil Rhizosphere food Webs, their stability and Implications for Soil Processes in Ecosystems*. The rhizosphere: an ecological perspective. Ed.: Zoe G. Cardon, 7, 101-125

MOORE, J.M., KLOSE, S., TABATABAI, M.A., 2000. *Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems*. Biology and Fertility of soils 31, 200-210.

MOYER, J.R., ROMAIN, E.S., LINDWALL, C.W., BLACKSHAW, R.E., 1994. *Weed management in conservation tillage systems for wheat production in North and South America*. Crop Protection 13, 243-258

MÜLLER, A. K., WESTERGAARD, K., CHRISTENSEN, S., SORENSEN, S. J., 2001. *The effect of long-term mercury pollution on the soil microbial community*. FEMS Microbiol. Ecol. 36: 11-19.

NANNIPIERI, P., 1994. *Potential use of soil enzymes as indicators of productivity sustainability and pollution*. En Pankhurst, C.E. et al (Eds): Management in sustainable farming systems. CSIRO. Adelaide pp 238-244.

NANNIPIERI, P., JOHNSON, R.L., POOL E.A, 1978. *Criteria of measurement of microbial growth and activity in soil*. Soil Biology and Biochemistry.

NEEF, A., AMANN, R., SCHLESNER, H. Y SCHLEIFER, K. H., 1998. *Monitoring a widespread bacterial group: in situ detection of planctomycetes with 16S rRNA-targeted probes*. Microbiology 144: 3257-3266.

NEUMANN, G., RÖMHELD, V., 1999. *Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants*. Plant Soil, 211, 121-130.

- NICHOLLS, C.I., ALTIERI, M.A., PONTI, L., 2008. *Enhancing plant diversity for improving insect pest management in northern California organic vineyards*. Acta Horticulturae (785) Leuven: International Society for Horticultural Sciences (ISHS), 263-278
- NIGUSSIE, D., SHENK, M.K., CLAASEN, N. STEINGROBE, B., 2003. *Phosphorusefficiency of cabbage (Brassica oleracea L. var capitata), carrot (Daucus carota L.) and potato (solanum tuberosum, L.)*. Plant and Soil 250, 215-224.
- NOGALES, B., 2005 *La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg*. Ecosistemas, 14
- NOGALES, B., MOORE, E. R. B., LLOBET-BROSSA, E., ROSSELLO-MORA, R., AMANN, R. Y TIMMIS, K. N., 2001. *Combined use of 16S ribosomal DNA and 16S rRNA to study the bacterial community of polychlorinated biphenyl-polluted soil*. Appl. Environ. Microbiol. 67: 1874-1884.
- NORDMEYER, H., 2006. *Patchy weed distribution and site-specific weed control in winter cereals*. Precision Agriculture, 7, 219-231.
- NORTON, L., JHONSON, P., JOYS, A., 2009. *Consequences of organic and non-organic farming practices for field, farm and landscape complexity*. Agriculture, Ecosystems & Environment 129 (1/3) 221-227
- NYE, P.H. *Acid-base changes in the rhizosphere*. Adv. Plant Nutr. 2, 129-153
- O'DONOVAN, J.T., BLACKSHAW, R.E., HARKER, K.N., CLAYTON, G.W., MOYER, J.R., DOSDALL, L.M., MAURICE, D.C., TURKINGTO, T.K., 2007. *Integrated approaches to managing weeds in spring-sown in western Canada*. Crop Protection 26, 390-398.
- ONDINE, F.C., JEAN, C., ROMAIN, J., 2009. *Effects of organical soil conservation management on specialist bird species*. Agriculture, Agrosistemas & Environment 129 (1/3) Amsterdam: Elsevier, 140-143
- OWAKI, Y., SUGAHARA, K., 1997. *Active extrusion of protons and exudation of carboxylic acids in response to iron deficiency by roots of chickpea (Cicer arietinum, L.)*. Plant Soil 189, 49-55.
- PAINTER, B.H., HILLS, A.L., 2009. *Barley an Rigid Ryegrass (Lolium rigidum) Competition is Influenced by Crop Cultivar and Density*. Weed Technology, 23, 40-48.
- PARDO, G., VILLA, F., AIBAR, J., LEZAÚN, J. A.; LACASTA, C., MECO, R., CIRIA, P., ZARAGOZA, C., 2002. *Estudio de la fertilización y el desherbado en el cultivo de cebada en seco*. V congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología.
- PASCUAL, J.A., MORENO, J.L., HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C., 2002. *Persistence of immobilised and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes*. Bioresource Technology, 81, 1, 73-78.
- PELTONEN-SAINIO, P., MUURINEN, S., RAJALA, A., JAUHAINEN, L., 2008. *Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions*. Journal of Agricultural Science, 146, 35-37
- PIOTROWSKY, J.S., RILLIG, M. C., 2008. *Succession of arbuscular mycorrhizal fungi: causes, patterns, and considerations for organic agriculture*. Advances in Agronomy 97 San Diego: Elsevier Inc. 111-130
- POUTALA, R.T.; KORVA, J.; VARIS, E. 1993. *Spring wheat cultivar performance in ecological and conventional cropping systems*. Journal of Sustainable Agriculture, 3: 63-84

Capítulo 6. Bibliografía

- POZUELO, J.M., 1991. *Estudio de grupos funcionales de microorganismos edáficos en la rizosfera de alnus glutinosa (L.) Gaernt.* Tesis. Univ complutense de Madrid
- PAPENDICK, Y., PARR, J.F., 1992. *Soil quality, the key of a sustainable agriculture.* American journal of sustainable agriculture. 7, 2-3
- RADAJEWSKI, S., INESON, P., PAREKH, N. R., MURRELL, J.C., 2000. *Stable-isotope probing as a tool in microbial ecology.* Nature 403: 646-649.
- RASMUSSEN I.A., ASKEGAARD, M., OLESEN J.E. KRISTENSEN, K., 2006. *Effects on weeds of management in newly converted organic crop rotations in Denmark.* Agriculture, Ecosystems and Environment ,113: 184-195.
- RASMUSSEN, J; KURTZMANN, J.I.; JENSEN, A., 2004. *Tolerance of competitive spring barley cultivars to weed harrowing.* Weed Research 44:pp. 446-452.
- RASMUSSEN, J., NIELSEN, H.H., GUNDERSEN, H., 2009. *Tolerance and selectivity of cereal species and cultivars to postemergence weed harrowing.* Weed Science, vol. 57, n°3, pp. 338-345
- RENGEL, Z. MARSCHNER, P., 2005. *Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences.* New Phytologist, 168: 305-312.
- RILEY, D., BARBER, S.A., 1971. *Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface.* Soil Sci. Soc.Am Proc. 35, 301-306.
- ROSIN, C., CAMPBELL, H., 2009. *Beyond bifurcation: examining the conventions of organic agriculture in New Zealand.* Journal of Rural Studies 25 (1) Oxford: Elsevier., 35-37.
- SALAM, A. K., DESVIA, Y., SUTANTO, E., SYAN, T., NUGROHO, S. G. and KIMURA, M., 1999 *Activities of soil enzymes in different land-use systems in middle terrace areas of Lampung Province, South Sumatra, Indonesia.* Soil Science and Plant Nutrition 45 (1): 89-99.
- SASAKA, Y., NAKATSUBO, T., KUME, A., KOIZUMI, H., 2004. *Soil Microbial Biomass, Respiration Rate, and Temperature Dependence on a Successional Glacier Foreland in Ny-Ålesund, Svalbard.* Arctic, Antarctic, and Alpine research 36(4):395-399
- SASTRE, I, LOBO, M.C., 2003. *Determinación de la actividad ureasa del suelo.* Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos del suelo. García, Gil, Hernández y Trasar Eds. Mundiprensa.pp 123-147
- SCHÄRER. H.J., 2008. *The potential of cultivar mixtures in organic lettuce production.* Acta Horticulturae (767) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), , 159-167
- SEAL, A., PRATLEY, J., HAIG, T., 2005. *Evaluation of rice varieties for allelopathic effects on Australian rice weeds - linking laboratory to field.* IV World Congress in Allelopathy held at Charles Sturt University (CSU)
- SESSITSCH, A., WEILHARTER, A., GERZABEK, M. H., KIRCHMANN, H. Y KANDELER, E., 2001. *Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment.* Appl. Environ. Microbiol. 67: 4215-4224.
- SERRA, T., ZILBERMAN, D., GIL, J.M., 2008. *Differential uncertainties and risk attitudes between conventional and organic producers: the case of Spanish arable crop farmers.* Agricultural Economics 39 (2) Boston: Blakwell Publishing, 219-229

- SHAYNE, J. J., HUGENHOLTZ, P., SANGWAN, P., OSBORNE C.A., JANSSEN, A., 2003. *Laboratory Cultivation of Widespread and Previously Uncultured Soil Bacteria*. Appl Environ Microbiol., 69(12): 7210–7215.
- SINSABAUGH, R.L., REYNOLDS, H., LONG, T.M., 2000. *Rapid assay for amidohydrolase (urease) activity in environmental samples*. Soil Biology and Biochemistry 32, 2095-2097
- SMILEY, R.W. 1974. *Rhizosphere pH as influenced by plants, soils and nitrogen fertilizers*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38, 795-799.
- SOARES, R.A., ROESCH, L.F., ZANATTA, G., OLIVEIRA, F., PASSAGLIA, L.M., 2006. *Occurrence and distribution of nitrogen fixing bacterial community associated with oat (Avena sativa) assessed by molecular and microbiological techniques*. Applied Soil Ecology, 33, 3, 221-234.
- STARK C., CONDRON L.M., STEWART A., DI H.J. AND O'CALLAGHAN M., 2007. *Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes*. Applied Soil Ecology 35, 1, pp 79-93
- STEVENSON, F.J., 1982. *Origin and distribution of nitrogen in soil*.en: Stevenson FJ (ed) Nitrogen in agricultural soils. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wis., pp 1–42
- STOTZKY, G., 1997. *Soil as an environment for microbial life*. Modern Soil Microbiology. Marcel Dekker Inc.
- STRAUSS, R., BRÜMMER, G.W., BARROW, N.J., 1999. *Effects of kristallinity of goethite. Rates of sorption and desorption of phosphate*. Eur. J. Soil Scie., 48, 101-114
- SUMNER, J., 2008. *Sustainable horticulture and rural development: more than just organic production*. Acta Horticulturae (767) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 111-122
- SUN, H. Y., DENG, S. P. Y RAUN, W. R., 2004. *Bacterial community structure and diversity in a century-old manure-treated agroecosystem*. Appl. Environ. Microbiol. 70: 5868-5874
- TABATABAI, M.A., BRENNER, J.A., 1972. *Assay of urease activity in soil*. Soil Biology and Biochemistry 4, 479-487
- TANG, C., McCLAY, C.D.L., BARTON, L. 1997. *A comparison of proton excretion in twelve pasture legumes grown in nutrient solution*. Aust. J. Exp. Agric., 37, 563-570.
- TIEDJE J.M., ASUMING-BREMPPONG S., NUSSLEIN K., MARSH T.L., FLYNN S.J., 1999. *Opening the black box of soil microbial diversity*. Applied Soil Ecology 13, 2, pp 109-122
- TORSVIK, V., GOKSOYR, J., DAAE, F.L., 1990. *High diversity in DNA of soil bacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 56, 782-787.
- TRASAR-CEPEDA, C., LEIRÓS, C., GILSOTRES, F., SEOANE, F., 1998. *Towards a biochemical quality index for soils- an expression relating several biological and biochemical properties*. Biol. Fertil. Soils 26, 100-106
- TRASAR-CEPEDA C., LEIRÓS M. C. AND GIL-SOTRES F., 2000 *Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): specific parameters*. Soil Biology and Biochemistry 32, 6, 1 June 2000, pp 747-755
- URBANO, B., GONZALEZ-ANDRES, F., BALLESTEROS, A., 2006. *Allelopathic potential of cover crops to control weeds in barley*. Allelopathy journal 17(1):53-64

Capítulo 6. Bibliografía

- VALLEJO, J.M. (Coord.), 1994. *Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Análisis de suelos*. Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- VAN ELSAS J.D., TREVORS, J., WELLINGTON, E., 1997. *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker.
- VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S., 1987. *An extraction method for measuring soil microbial biomass C*. Soil Biology and Biochemistry 19, 703-709.
- VELMOUROUGANE, K., APARNACHAND, V., MANONMANI, G.K., PRAFULLA KUMARI, PRAKASAN, C.B., JAYARAMA., 2007. *Effect of organic and conventional farming in coffee on soil properties*. Indian coffee 71 (9) Bangalore: Coffee board, 21-26
- WATSON, P.R., DERKSEN, D.A., VAN ACKERC, R.C., 2006. *The ability of 29 barley cultivars to compete and withstand competition*. Weed Science, July: 783-792.
- WEBSTER, J., HAMPTON, G., LEACH, F., 1984. *ATP in soil: a new extractant and extraction procedure*. Soil Biology and Biochemistry, 16, 335-342.
- WEIBEL, F.P., SUTER, F., LADNER, J., MONNEY, P., 2008. *Improved organic and low-input apple production using rootstocks tolerant to weed competition*. Acta Horticulturae (772) Leuven: International Society for Horticultural Sciences (ISHS), 87-95
- WHITELEY A. S., MANFIELD M. AND LUEDERS, T., 2006. *Unlocking the 'microbial black box' using RNA-based stable isotope probing technologies*. Current opinion in Biotechnology, 17, 1, pp 67-71
- WILD, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Mundiprensa
- WHIPPS, J.M., 1997. *Ecological considerations involved in commercial development of biological control agents for soil-borne diseases*. En Modern Soil Microbiology. Marcel Dekker, Inc. New York.
- ZHANG, H., XU, M., ZHANG, F., 2009. *Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China*. Journal of agricultural Science 147 (1) Cambridge: Cambridge University Press, 31-42
- ZHONG, P.S., LIANG, G. W., ZENG, L., 2008. *The population dynamics of white black planthopper, Sogatella fructifera a8horvath) and effects of the natural enemies in organic rice fields*. ACTA Phytopylacica sinica 35 (4) Beijing: Editorial Board of the Acta Phytopylacica Sinica, 351-355
- ZARAGOZA, C., AIBAR, J., CAVERO, J., CIRIA, M., CRISTOBAL, M.V., DE BENITO, A., GARCIA - MARTIN, A., GARCIA - MURIEDAS, G., HERNANDEZ, J., LABRADOR, J., LACASTA, C., LAFARGA, A., LEZAUN, J.A., MECO, R., MOYANO, A., NEGRO, M.J., SOLANO, M.L., VILLA, F., VILLA, I., 1998 *Manejo ecológico de agrosistemas en secanos semiáridos, resultados de doce ensayos sobre fertilización y escarda. Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio*, III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- ZARAGOZA, C., CIRUJEDA, A., 2004. *Características y función de la flora arvense en los agrosistemas. Conocimientos técnicos y productos para la agricultura y la ganadería ecológica*. Ed Juana Labrador, SEAE, MAPA, pp 69-79

