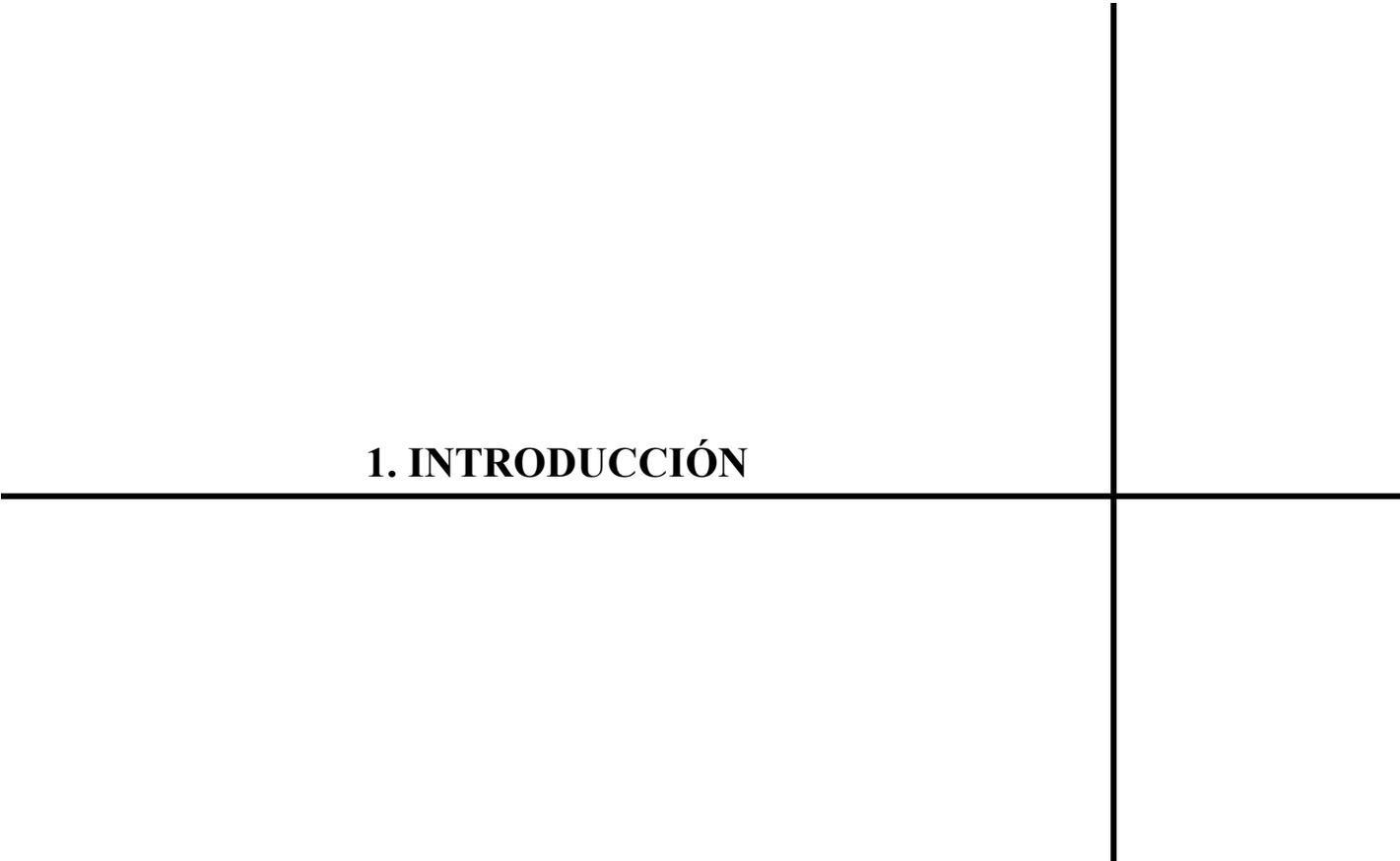


# 1. INTRODUCCIÓN



### **1.1. La agricultura intensiva convencional y su problemática**

El sistema de producción intensivo surgido de la llamada “Revolución Verde” caracterizado por el uso abusivo de fertilizantes y otros agroquímicos, laboreo excesivo de los suelos, uso del monocultivo, etc., está basado en la aplicación de técnicas culturales que agravan los problemas de degradación de los suelos por erosión, salinidad, acidez, contaminación por pesticidas y fertilizantes, etc. Ello se traduce en una pérdida de la capacidad productiva de los suelos con las subsiguientes disminuciones en los rendimientos agrícolas, y resulta además en un modelo de agricultura totalmente dependiente de los insumos externos al sistema (Rosset, 1989; Shiva, 1991; Rosset y Medea 1994; Pomares et al., 2002).

A partir de la década de los 50, se vienen aplicando anualmente cantidades ingentes de fertilizantes nitrogenados a los cultivos con el fin de aumentar sus rendimientos productivos. La alta demanda de alimentos fue otro factor determinante de la sustitución de la fertilización tradicional a base de residuos orgánicos (ganaderos, agrícolas, domésticos, etc.) y a través del cultivo de leguminosas (fijación biológica del N<sub>2</sub>) por los fertilizantes nitrogenados de síntesis. La denominada "Revolución Verde" se convirtió en el paradigma de la producción y aplicación de los mencionados fertilizantes nitrogenados, trayendo consigo el consumo de una gran cantidad de energía no renovable para su producción, y los nefastos problemas en la ecología y el equilibrio biológico.

En una primera consideración, la crisis de la agricultura convencional es universal y afecta a todos los países del planeta. El monopolio de la comercialización por las transnacionales y el hecho de que los precios de los alimentos que reciben los productores se hayan mantenido estacionarios, mientras que los costes de los insumos manufacturados se han elevado considerablemente, han sido las causas más importantes de esta crisis (Wessel y Mort, 1983; Strange, 1988; NRC, 1989; Krebs, 1991; Guither et al., 1994). Los agricultores se han visto obligados a endeudarse para la compra de tractores, cosechadoras, etc., y sus bajos ingresos no han sido suficientes

para atender los pagos de sus deudas, lo que ha provocado cierres de muchas explotaciones agropecuarias.

En cuanto a una segunda consideración, los rendimientos de los cultivos están disminuyendo progresivamente en algunas regiones de America Latina, África, etc. (Hewitt y Kathetine, 1995). Los agroecólogos opinan que esta disminución del rendimiento se debe a una constante erosión de la base productiva de la agricultura a través de prácticas no sustentables (Altieri y Rosset, 1995; Hewitt y Kathetine, 1995). Los mecanismos que explican este proceso incluyen la degradación de los suelos, la compactación, la disminución del contenido en materia orgánica y biodiversidad, la salinización, el agotamiento de las aguas subterráneas, la deforestación y desertificación, sin olvidar la vulnerabilidad de los cultivos a plagas y enfermedades, la eliminación de la fauna auxiliar, y la resistencia a los plaguicidas desarrollada por insectos, malas hierbas y organismos patógenos de los cultivos (Carrol et al., 1990; Altieri, 1993; Hewitt y Katherine, 1995).

### ***1.1.1. Degradación física del suelo***

La erosión es el principal factor de la degradación del suelo. La erosión se extiende por el Levante español, y de manera especial en Andalucía oriental, principalmente en las provincias de Almería, Granada y Jaén, que están catalogadas como las zonas españolas de “mayor riesgo” en el mapa mundial de la Conferencia de Nairobi sobre la Desertificación de 1977.

Los suelos de la zona mediterránea están bajo clima semiárido y los efectos negativos que causa la agricultura intensiva se ven agravados por otros factores: lluvia torrencial con gran poder erosivo, alta evapotranspiración, salinidad, relieve, substrato litológico (rocas carbonatadas, sedimentos cuaternarios y formaciones de margas que favorecen el proceso de erosión) y desprotección de los suelos desnudos sin cubierta vegetal.

Los efectos del viento, las lluvias torrenciales, el impacto de las gotas de lluvia y la compactación por las máquinas pesadas, reducen la porosidad y el espesor de la capa arable, disminuyendo la fertilidad del suelo y la capacidad potencial productiva del mismo, debido al cambio en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (García et al., 1994; Pascual, 1995).

Las excesivas aplicaciones de fertilizantes químicos en las explotaciones agrícolas pueden originar, además, un empobrecimiento en materia orgánica de los suelos con una respuesta inmediata de aumento de erosión y pérdida de fertilidad. La utilización exclusiva de fertilizantes sintéticos favorece la pérdida de materia orgánica, con la subsiguiente repercusión negativa en el complejo arcilloso-húmico, y en la estructura del suelo. En algunos casos, los fertilizantes químicos actúan también como agentes dispersantes de los coloides del suelo, que junto a la maquinaria agrícola, hacen que éste se compacte de tal forma que los cultivos tienen dificultades para enraizar y desarrollarse.

### ***1.1.2. Contaminación del agua***

Está considerada como uno de los efectos más nocivos de las malas prácticas agrícolas. El National Research Council (NRC, 1989) estima que un 50% de los contaminantes que reciben las aguas proceden de la agricultura.

La agricultura intensiva es la principal fuente de contaminación de las aguas subterráneas por nitratos, siendo los fertilizantes nitrogenados la principal fuente de nitrato en los suelos agrícolas. Le siguen en importancia los vertidos orgánicos (urbanos, industriales y de la ganadería).

El ion nitrato es muy soluble en agua y apenas es adsorbido por el complejo arcillo-húmico del suelo, por lo que puede ser fácilmente lixiviado por el agua de drenaje hacia las capas más profundas de dicho suelo, fuera del alcance de las raíces.

Aunque no existe un criterio único sobre el nivel crítico de concentración de nitratos en agua para consumo humano, la Organización Mundial de la Salud estableció en 1984, como límite recomendable, una concentración de 44 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L,

mientras que la Comunidad Europea (CE) estableció el límite máximo de 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Directiva CEE 676/91 de 19 de diciembre).

Otro aspecto a considerar es la sobreexplotación de los acuíferos por encima de su capacidad de recarga. Esto genera un descenso del nivel freático con el consiguiente incremento energético para la extracción de agua, además de un deterioro de la calidad de ésta por intrusiones de agua marina en las zonas costeras de agricultura intensiva, contribuyendo a la pérdida de un recurso acumulado durante largos periodos de tiempo.

Según estudios de Legaz y Primo-Millo (1992), más del 60% de los pozos de la Comunidad Valenciana poseen niveles superiores a 50 mg/L de nitrato, que es el límite máximo admisible para las aguas aptas para el consumo humano. En base a los datos del Instituto Tecnológico Geominero de España (1996-1999), se han llegado a encontrar concentraciones de nitrato por encima de los 400 mg/L en algunas muestras de la Comunidad Valenciana, estando las mediciones realizadas en 24 municipios por encima de los 100 mg/L, siendo algunas de ellas, además, aguas de abastecimiento a la población (como en los términos municipales de Canet de Berenguer o de Oliva).

Algunas investigaciones han constatado que una ingesta alta en nitrato puede producir metahemoglobinemia y efectos cancerígenos en los seres humanos. La metahemoglobinemia es una enfermedad que afecta fundamentalmente a los lactantes y está causada por la transformación de los nitratos en nitritos, que se fijan a la hemoglobina disminuyendo así su capacidad para transportar oxígeno por la sangre (Causeret, 1984); a su vez, los nitratos pueden combinarse con aminas terciarias y secundarias dando lugar a las nitrosaminas, compuestos potencialmente cancerígenos (Farré y Frígola, 1987).

Además, se ha observado la presencia de herbicidas muy persistentes y de lenta degradación en algunos acuíferos, como lo demuestran las cantidades de bromacil, atracina y otros compuestos encontrados en cuantías superiores al límite máximo de potabilidad en cinco de veinte pozos analizados en Castellón, Valencia y Huelva (Gómez de Barreda, 1994).

### ***1.1.3. Contaminación del suelo y el aire por el uso de fertilizantes minerales***

Los abonos minerales pueden contener numerosos metales pesados, representando una fuente importante de aportación de éstos, siendo relevantes las cantidades de zinc y cadmio que se encuentran en algunos fertilizantes fosforados. El Zn, Mn, Co y Pb son los principales metales que se incorporan al suelo como impurezas de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en los cultivos de arroz en Valencia, siendo los superfosfatos los que presentan mayor contenido en metales: 2,22 mg/kg de Cd, 4,50 mg/kg de Co, 12,5 mg/kg de Cu y 50 mg/kg de Zn (Gimeno,1996). Estas cantidades son especialmente preocupantes en el caso del cadmio, ya que es absorbido muy fácilmente por las plantas y puede producir efectos fitotóxicos y zootóxicos. Este metal es también capaz de superar la barrera suelo-planta y causar daños a los consumidores antes de alcanzar niveles tóxicos para los tejidos vegetales (Chaney, 1983).

También se produce contaminación atmosférica en la fabricación de los abonos minerales, liberándose a la atmósfera amoníaco, ácido nítrico, partículas de nitrato amónico y urea, que pueden originar el fenómeno conocido como lluvia ácida.

### ***1.1.4. Contaminación del suelo por los productos fitosanitarios***

El uso de plaguicidas de reconocida peligrosidad, así como el mal uso de estos productos en general, viene dejando secuelas negativas, muchas veces de carácter irreversible, tanto sobre los seres humanos como sobre el ambiente.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por el Departamento de Agricultura de los EE.UU., entre el 97% y 99% de los plaguicidas aplicados a los cultivos no alcanzaron los organismos que se deseaban combatir (ERF, 1991). Otras investigaciones han corroborado estos resultados, señalando que, en una gran parte de los casos, la cantidad de los plaguicidas aplicados que alcanzan a los organismos causantes de las plagas es menor del 0,1%.

Como consecuencia de la acción de los plaguicidas hay una pérdida de biodiversidad en los agroecosistemas, donde sólo se favorece la presencia del cultivo y las especies de flora y fauna capaces de resistir el efecto de las aplicaciones de estos productos (Pimentel y Edwards, 1982; Pimentel y Andow, 1984; van der Valk y Koeman, 1988; Croft, 1990).

Otros efectos nocivos de los plaguicidas sobre el ecosistema son la acumulación de algunos compuestos (DDT, aldrín, dieldrín y otros órgano-clorados) en los organismos situados en la parte superior de la cadena trófica, pudiendo afectar a la capacidad reproductiva de muchas aves de presa, lo que puede causar unas disminuciones considerables en sus poblaciones, y dañar a la microfauna beneficiosa para las plantas, en la que se incluyen depredadores y enemigos naturales, cuyas especies son seres muy frágiles (Ramade, 1995).

Alvear et al. (2006) estudiaron los efectos de diferentes herbicidas en cultivos anuales sobre las actividades biológicas del suelo, y encontraron que todos los tratamientos resultaron negativos respecto al testigo. El C y N en la biomasa microbiana resultaron afectados negativamente por la trifluralina y el MCPA + metsulfurónmetil; la deshidrogenasa también resultó afectada significativamente en relación al testigo. Además, la fosfatasa ácida fue afectada por la simazina, trifluralina y MCPA + metsulfurónmetil; la ureasa presentó una reducción altamente significativa.

#### ***1.1.5. Disminución de la biodiversidad***

El monocultivo es un sistema de producción muy frágil que puede ser fácilmente afectado por la aparición de una plaga (Domínguez, 1993), razón por la cual se hace imprescindible un control sanitario, que en el cultivo intensivo se basa principalmente en el uso indiscriminado de agroquímicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.). Generalmente, los productos que se emplean son muy poco selectivos, lo que puede provocar la ruptura de los equilibrios biológicos existentes en los ecosistemas agrícolas y la consiguiente disminución de la biodiversidad del suelo. También cabe indicar la posibilidad de que las plagas y la flora adventicia desarrollen

a veces resistencias frente a las sustancias activas empleadas, lo que implica un progresivo aumento en las dosis de aplicación, con el consiguiente incremento del riesgo de contaminación ambiental. Por último, el empobrecimiento biológico de los suelos facilita la supervivencia de microorganismos patógenos ante la falta de acción antagonista de la flora microbiana nativa del suelo. De igual modo ocurre con las plagas, que proliferan ante la falta de depredadores naturales.

## **1.2. La agricultura sostenible como alternativa de la agricultura convéncional**

La palabra *sostenibilidad* no está incluida en la mayoría de los diccionarios de español. Es un término moderno, del siglo XX, derivado del verbo sostener o sustentar, que se refiere a “mantener” durante un período prolongado en el tiempo. Esta terminología fue formulada por primera vez en el Programa adoptado por la “Cumbre de la Tierra (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo-CNUMAD)” que tuvo lugar en Río de Janeiro en 1992, y más tarde en la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDSS) en abril-mayo de 2000. Su objetivo principal es garantizar que la producción de alimentos aumente de forma sostenible y que mejore la seguridad alimentaria, con el compromiso de conservar los recursos de la tierra; además, debe velar por que la agricultura, la silvicultura y la pesca contribuyan a satisfacer las necesidades básicas, no sólo de la generación presente sino también de las generaciones futuras.

La sostenibilidad hace referencia a la continuidad cuantitativa y cualitativa en el uso de un recurso. Este concepto suele aplicarse al desarrollo, del cual la agricultura es uno de sus componentes. La agricultura sostenible supone que las fuentes de producción de alimentos sean manejadas de manera que no causen degradaciones.

Así pues, desarrollar modelos de producción basados en la sostenibilidad no significa, bajo ningún concepto, renunciar a los avances científicos y tecnológicos que se han producido en las últimas décadas, ni tampoco volver a la agricultura del pasado, sino utilizar estos nuevos conocimientos con el fin de conseguir alimentos de calidad,

competitivos en el mercado, producidos a costes razonables para el agricultor, y teniendo en cuenta además la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales y el paisaje. Este tipo de sistemas agrarios deben gestionarse teniendo en cuenta que no se puede cambiar o eliminar un elemento propio del sistema sin afectar a otros componentes del mismo. Como puede observarse los principios son totalmente diferentes y el fin no es conseguir las máximas producciones por hectárea sino lograr una estabilización de éstas a largo plazo.

Este camino hacia una agricultura sostenible requiere, no obstante, cambios sociales, políticos y económicos, así como mercados y precios más justos. Existen, sin embargo, una serie de dificultades para el desarrollo de la agricultura sostenible como son: a) la necesaria visión integrada (holística), que tiene en cuenta tanto el todo como las partes, y b) el choque con los habituales métodos reduccionistas de pensamiento en distintas facetas de la actividad agraria (investigación, transferencia y formación agrícola).

Difícilmente se solventarán estas dificultades si en la investigación y transferencia agrícola no se presta más atención a los problemas a largo plazo: no se planifica la agricultura con una perspectiva ecológica; se desarrolla el cooperativismo para llegar a los mercados; hacer lo posible para que los agricultores perciban un precio que, al menos, cubra los costes de cultivo, y, se tenga en cuenta la preocupación de los consumidores hacia los problemas de la nutrición, la seguridad alimentaria y el medio ambiente.

### ***1.2.1. La Agricultura Ecológica***

#### **1.2.1.1. Definición y objetivos**

La agricultura ecológica, también conocida como biológica, orgánica, etc., se define como una agricultura alternativa que se propone obtener unos alimentos de la máxima calidad nutritiva, respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad del suelo, mediante la utilización óptima de los recursos locales y sin la aplicación de

productos químicos sintéticos.

Esta definición ha sido adoptada por el Ministerio de Agricultura Español en la creación de la Denominación Genérica de Calidad "Agricultura Ecológica" y reconocida por la Unión Europea (UE). Aunque la Producción Agraria Ecológica se considera como un compromiso personal, su normativa se fundamenta en el Reglamento CEE 2092/91 del 24 de junio de 1991 "sobre producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agroalimentarios", y sucesivas modificaciones y ampliaciones, tanto a nivel comunitario como estatal y autonómico. En España, el Real Decreto 1852/1993 regula la creación de la Comisión Reguladora de la Agricultura Ecológica -CRAE- y establece las competencias de las Comunidades Autónomas.

Asimismo, para afianzar la confianza de los consumidores en la calidad de los productos ecológicos, la Comisión y el Consejo de la Unión Europea actualizó la normativa con el Reglamento (CE) N° 834/07 de 28 de junio de 2007 sobre la producción y etiquetado de los mismos, y los Reglamentos (CE) N° 889/08 de 5 de septiembre de 2008 y N° 967/08 de 29 de septiembre de 2008 por los que se establecen disposiciones de aplicación adicionales con respecto a la producción ecológica y su etiquetado y su control.

La agricultura ecológica hace especial énfasis en la diversificación como piedra angular de la estabilidad y productividad de los sistemas agroecológicos, en los que la agricultura, silvicultura o ganadería integran en armonía las posibilidades productivas de cada región. Se pueden mencionar como objetivos de este sistema agrario:

- Producir alimentos de la máxima calidad nutritiva, sanitaria y organoléptica en suficiente cantidad.
- Mantener o incrementar la fertilidad del suelo a largo plazo.
- Utilizar al máximo los recursos renovables de los agrosistemas, optimizando los recursos locales y buscando un elevado nivel de autosuficiencia en las materias primas

- Conservar los recursos naturales y genéticos, preservando las especies y variedades autóctonas y, en general, la diversidad biológica (tanto agrícola como silvestre).
- Proporcionar al ganado unas condiciones de vida tales que le permita desarrollar los aspectos básicos de su comportamiento innato.
- Evitar en lo posible todas las formas de contaminación que puedan derivarse de las prácticas agrarias.
- En general, optimizar el aprovechamiento y potenciación de todos los procesos y equilibrios naturales de los agrosistemas, fomentando y estimulando los ciclos geobiológicos.

Este modelo se integra dentro de una corriente medioambientalista, basada en la adopción de políticas económicas, sociales y ambientales que fomenten un comportamiento sustentable capaz de satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer las de las generaciones futuras.

#### 1.2.1.2. Técnicas de cultivo

Las técnicas de cultivo de la agricultura ecológica se especifican en el Reglamento CEE nº 2091/91, sus modificaciones posteriores (2092/1991), y en los últimos Reglamentos (CE) (834/07, 889/08 y 967/08) de la Comisión y el Consejo sobre la producción agrícola ecológica y producción de alimentos, que combinan las mejores prácticas ambientales, elevando el nivel de la biodiversidad y la preservación de los recursos naturales.

Las prácticas a seguir deberían permitir el mantenimiento o incremento de la fertilidad y la actividad biológica del suelo.

##### *1.2.1.2.1. Mínimo laboreo*

Es una técnica que se realiza para la siembra o plantación, que procura reducir el número de labores e integrar equipos con el objetivo de disminuir el paso de maquinaria o de suprimir algunas prácticas de laboreo. El mínimo laboreo disminuye el consumo de

energía, causa menos compactación del suelo, conserva la humedad del suelo, reduce la erosión, enriquece el suelo en materia orgánica, minimiza costos, y permite mayores niveles de productividad que el laboreo convencional (Labrador, 1996).

#### *1.2.1.2.2. Rotación de cultivos*

El término "rotación de cultivos" se refiere a la práctica de alternar diferentes cultivos en el mismo terreno durante un periodo de 2 a 4 años, de forma regular, incluyendo un número amplio de especies vegetales (Barber, 1994). Se procura alternar cultivos con altas exigencias nutricionales con cultivos de bajas exigencias nutritivas, y cultivos con raíz superficial con cultivos con raíz profunda, para ayudar a mantener estable la estructura del suelo y facilitar el drenaje del agua. La rotación de cultivos, especialmente con leguminosas, constituye una práctica con múltiples ventajas, entre las que destacan: a) la disminución en la incidencia de plagas, adventicias y enfermedades; b) la protección del suelo frente a la erosión; y, c) el incremento de la fertilidad del suelo, obteniéndose, en general, incrementos en los rendimientos agrícolas (Burkles, 1994; Guzmán et al., 1995; Pozo, 1998).

#### *1.2.1.2.3. Asociación de cultivos*

Las asociaciones de cultivos consisten en intercalar plantas de diferentes especies en una misma parcela o superficie de suelo, por lo que también se denominan cultivo múltiple o policultivo (Altieri, 1993), dando como resultado una competencia interespecífica o complementaria (Cánovas-Fernández, 1993), e introduciendo la biodiversidad en el agroecosistema. Esta técnica permite a los cultivos protegerse mutuamente de los parásitos, reportando un beneficio neto positivo sobre una especie y ningún perjuicio (comensalismo). Como ejemplo de asociación cabe indicar la de cereal-leguminosa. El cereal aprovecha la fijación del nitrógeno por la leguminosa y esta última aprovecha los tallos del cereal como tutores.

Las ventajas de la asociación de cultivos son: a) mejorar el aprovechamiento de los recursos, tanto el suelo como el agua; b) permitir la disminución de los problemas

fitosanitarios; y, c) reducir la incidencia de malas hierbas, ya que se propicia una cubrición más rápida del suelo con el vegetal.

Además de los policultivos comensalísticos ya indicados, (ejemplo: cereal-leguminosa), existen los amensalísticos (la asociación entre los cultivos que tiene efectos negativos sobre una especie y ningún efecto sobre la otra como por ejemplo: plantas anuales intercaladas entre plantas perennes).

#### *1.2.1.2.4. Uso de materia orgánica y productos naturales para la fertilización*

La materia orgánica ha sido considerada tradicionalmente uno de los factores fundamentales de la fertilidad de los suelos. Es el reservorio de alrededor del 95% del nitrógeno edáfico e influye favorablemente sobre propiedades físicas como la estabilidad de la estructura, la erosionabilidad, la densidad aparente, etc. se la considera también uno de los componentes principales de la sustentabilidad de los agroecosistemas (Swift y Woomer, 1991). Este apartado se trata con más detalle en el punto 1.3.2.

#### *1.2.1.2.5. Abonos verdes*

La práctica de los abonos verdes consiste en la incorporación de una masa vegetal cruda de plantas cultivadas con la finalidad de incrementar la productividad del suelo (Chávez, 1986). Otros autores, como Miyasaka (1984), consideran a los abonos verdes como plantas que protegen el suelo y que, al incorporarlas, mejoran sus condiciones físicas, químicas y biológicas, favoreciendo así el desarrollo de los cultivos agrícolas posteriores.

La definición de los abonos verdes, según Fancelli (1990), se refiere a la práctica agrícola mediante la cual determinadas plantas son cultivadas con la finalidad de incorporarlas al suelo, promoviendo su enriquecimiento en materia orgánica y nutrientes, principalmente nitrógeno, únicamente cuando se utilizan leguminosas.

Da Costa (1991) propone un concepto más amplio de los abonos verdes, argumentando que son plantas utilizadas en rotación, sucesión o asociación con los

cultivos y que incorporadas al suelo o dejadas en su superficie son capaces de mantener o mejorar las características físicas, químicas y biológicas de dicho suelo.

Las plantas utilizadas como abonos verdes pertenecen generalmente a la familia de las leguminosas, por la posibilidad que tienen éstas de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con las bacterias del género *Rhizobium*, aunque en los últimos tiempos se cultivan otras especies de crecimiento rápido y elevada producción de biomasa, como es el caso de algunas gramíneas, crucíferas o compuestas. En otros trabajos se está recomendando usar combinaciones de algunas de ellas o de todas juntas, formando un gran "cóctel" (Gakale y Clegg, 1987; Fancelli, 1990; Guiberteau y Labrador, 1991; Piamonte, 1993).

#### *1.2.1.2.6. Métodos preventivos y control biológico contra plagas y enfermedades*

Es importante la elaboración de un buen programa de rotaciones y asociaciones de cultivos para combatir las plagas y enfermedades en los sistemas de producción ecológica, para lo cual es conveniente hacer una buena selección de semillas o plantas resistentes. Posteriormente, es conveniente la aplicación a dosis razonada de productos de origen biológico o natural como el *Bacillus thuringiensis* cuando la incidencia supera el umbral económico.

También, para la desinfección de suelos se suele emplear la biofumigación, que se define como la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodescomposición de la materia orgánica en el suelo para el control de patógenos de las plantas (Bello et al., 2000).

El uso de los enemigos naturales para el control de las plagas es de capital importancia en la estrategia del control biológico. Cuando se presenta un desequilibrio ecológico por eliminación de la fauna auxiliar, es conveniente proceder a la reintroducción de los enemigos naturales dentro del sistema o bien propiciar las condiciones adecuadas para que el equilibrio biológico pueda restaurarse. En sistemas agrícolas modernos, se ha obtenido evidencia experimental que indica que la biodiversidad puede ser utilizada para mejorar el control de las plagas (Andrew, 1991)

Los *Bacillus thuringiensis* (Bt) constituyen uno de los primeros agentes de control biológico que se comercializaron inicialmente en Francia a mediados de los años 40 bajo el nombre “Sporeine” (Bernhard y Utz, 1993). Actualmente se usan anualmente en varios millones de hectáreas para controlar las plagas agrícolas y forestales, así como en productos almacenados (Smith y Paul, 1997), y representan el 39% de los 185 bioplaguicidas existentes en el mercado mundial (Copping, 1999).

#### 1.2.1.3. Situación actual y perspectivas futuras

Cualquier sistema agrícola considerado sostenible no está exento de dificultades, problemas y riesgos. El sistema ecológico es un sistema complejo, cuya sustentabilidad ha sido cuestionada por algunos autores (Trewavas, 2004), ya que aunque en los sistemas ecológicos se suelen provocar mejoras de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, ello no se traduce siempre en un aumento de la productividad. Los incrementos de materia orgánica en los sistemas ecológicos ocurren lentamente, requiriéndose generalmente varios años para registrar aumentos significativos (Drinkwater et al., 1995). Las experiencias acumuladas en ensayos realizados a largo plazo muestran que, en general, se obtienen menores rendimientos en los sistemas ecológicos que en los convencionales durante los primeros años de producción, seguido de un progresivo incremento de la productividad (USDA, 1980; Liebhardt et al., 1989; Standhill, 1990; Stockdale et al., 2001).

El crecimiento de la superficie agrícola cultivada según este sistema de producción ha sido muy importante durante los últimos años, en especial desde el inicio de la década de los 90 (Figuras 1 a 3). Esta evolución se debe, en parte, a las mejoras legislativas, que han permitido la armonización de las normas de producción y el establecimiento de un sistema de control efectivo.

La situación de la producción ecológica en el mundo en el año 2008 (FIBL/IFOAM, 2009) se indica de forma sintética a continuación:

En términos de superficie, la segunda posición corresponde a **Europa**, con el 24,1% del área mundial; de la cual, un 9,7% pertenece a la Unión Europea. Los países europeos con mayor superficie son: Italia, 1150253 ha, España, 988323 ha, Liechtenstein, 904800 ha, Alemania, 865336 ha, Austria, 405600 ha, Suiza, 343200 ha. Y los productores en Europa y la Unión Europea son 200000 y 180000, respectivamente (FIBL/IFOAM, 2009). Se puede afirmar, sin lugar a dudas, que estos países son los "motores" de la agricultura ecológica en Europa. Un país considerado como referente para el sector es Suiza, ya que es el mercado de productos ecológicos más antiguo y consolidado de Europa, y también por su importancia en materia de investigación.

**Oceanía** es la región con más superficie dedicada a producción ecológica, debido principalmente a que Australia es el primer país a nivel mundial, representando un 37,5% de la superficie total mundial en 2008 y siendo los pastos su principal aprovechamiento productivo. Los principales países productores de alimentos ecológicos son Australia con 12000000 hectáreas y Nueva Zelanda con 65000 hectáreas. No obstante, la fuerte demanda exterior de productos ecológicos, en especial la demanda europea, está estimulando otros tipos de producciones.

En **América Latina**, los 6,4 millones de hectáreas que representan un 19,8% de la superficie mundial son cultivadas por 220000 productores; de ellas, la mayor extensión está dedicada a pastos. Los países más importantes de la región son: Argentina, Brasil y Uruguay, que registran 2777957, 1765773 y 930965 hectáreas, respectivamente. La República Dominicana y Uruguay representan un 6% de la superficie de la región, mientras que México y Argentina alcanzan un 2%. En los países restantes menos desarrollados de la región, la agricultura ecológica supone una opción viable, acorde con los sistemas extensivos de producción y el empleo de técnicas que pueden hacer prescindibles los agroquímicos de síntesis.

En **Norte América**, la agricultura ecológica está extendida en 2200000 hectáreas, siendo Estados Unidos el país más importante en la zona. Las fincas registradas fueron 12064. Existen unas normas federales (National Organic Program)

que armonizan las prácticas en este país, pero que no se consideran homologadas a las normas europeas. La importancia de la región norteamericana radica en el rápido crecimiento de su mercado, el mayor a nivel mundial. La superficie dedicada a la producción ecológica de la zona ocupa un 6,8% del total mundial. Este espectacular crecimiento se debe a la entrada de la distribución convencional en el mercado ecológico, como ha sucedido con los gigantes de la alimentación Wal-Mart y Whole Foods.

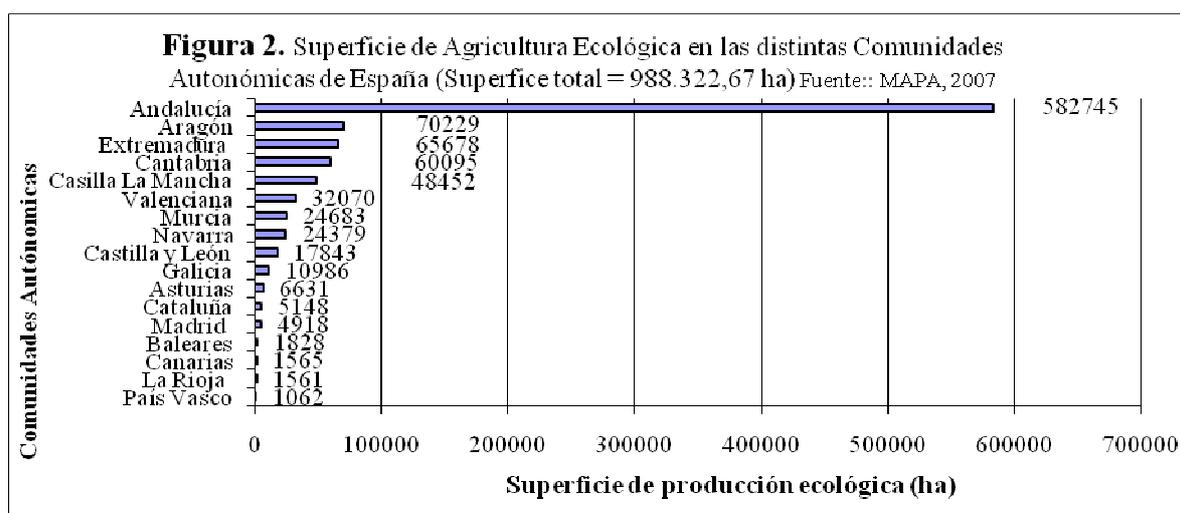
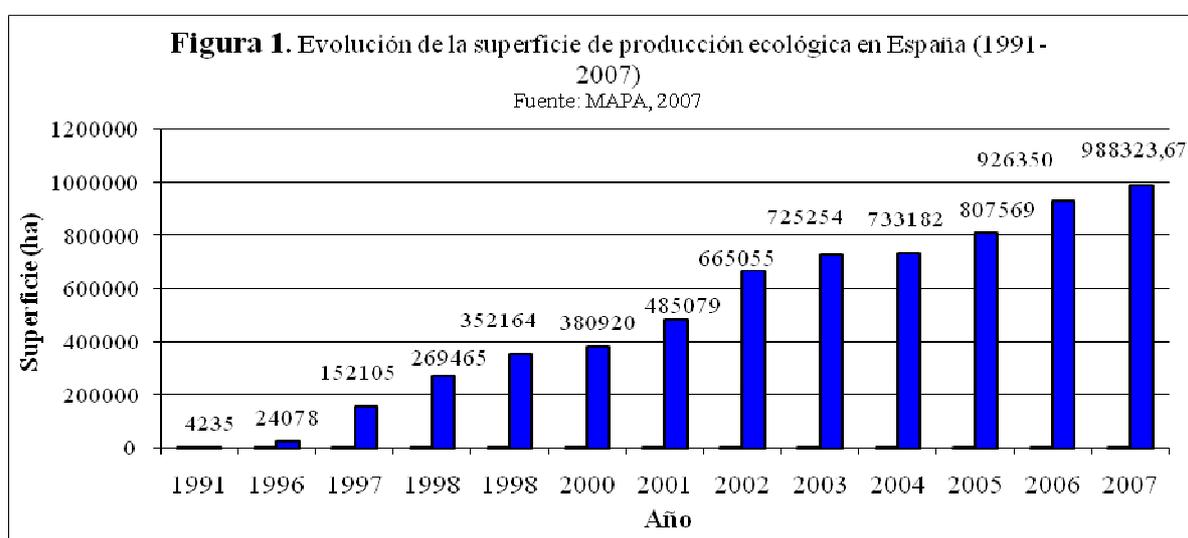
En **África**, la producción ecológica no es una producción certificada en la mayoría de los casos, por lo que los datos disponibles son poco precisos. No obstante, la producción ecológica representa unas 930000 hectáreas, de las cuales Santo Tomé y Príncipe tiene un 5% de la superficie, mientras que Uganda dispone de un 2,3%, con 296202 productores de los 530000 que hay en el continente. El crecimiento del sector está ligado a la demanda de la Unión Europea y beneficia a los países capaces de exportar. En los países menos desarrollados, y al igual que en otras regiones del mundo, la importancia de la producción ecológica radica en que preserva los recursos naturales y se nutre de prácticas agrarias tradicionales. Los países más importantes por su producción ecológica son Túnez, con normas homologables a las de la Unión Europea, Egipto y Sudáfrica. La superficie de la producción ecológica que aporta el continente a nivel mundial representa un 2,8% de la superficie total.

En **Asia**, la superficie registrada es de 2900000 hectáreas con 230000 productores. Las mayores áreas se encuentran en China, con 1.550.000 hectáreas. India dispone aldededor de 1000000 de hectáreas, mientras que Timor posee solamente un 7% del total de la zona, que representa el 9% de la superficie ecológica global.

**España** reúne condiciones para el desarrollo de este tipo de agricultura, por su favorable climatología y los sistemas extensivos de producción que se aplican a un gran número de cultivos. En lo que respecta a la producción animal, la conservación de un patrimonio genético importante de razas autóctonas, de gran rusticidad y adaptadas al medio, favorece su cría y explotación en régimen extensivo. Todo ello,

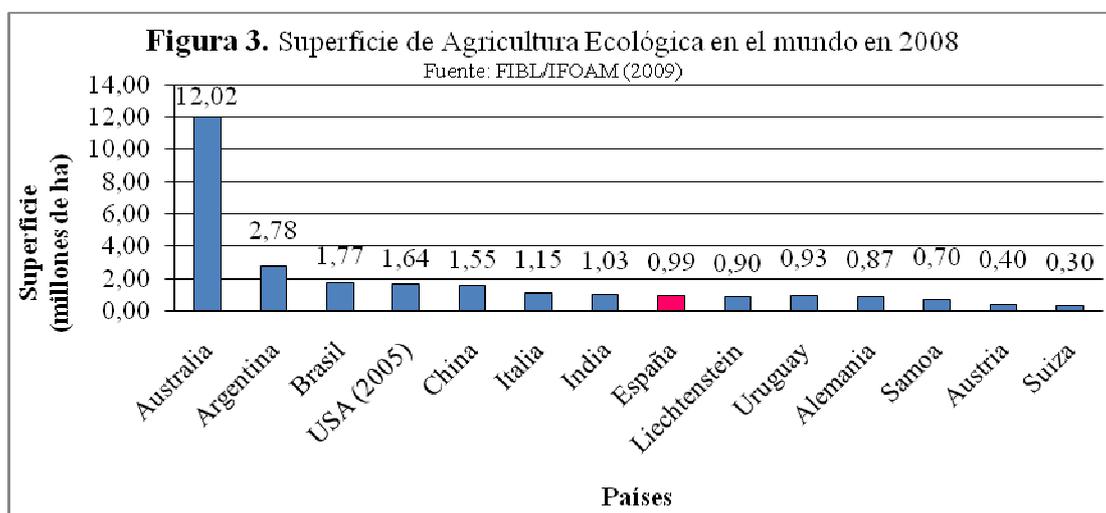
sin olvidar la tradición y el desarrollo alcanzado por la apicultura, cuyo manejo cuidadoso ha dado lugar a la obtención de productos de gran calidad, por la abundancia y variedad de la flora melífera existente.

La producción agrícola ecológica española ha evolucionado, en cuanto a la superficie, de la siguiente manera: en 1991 había 4235 ha; en 1997 la superficie alcanzada fue de 152.105 ha, y en el año 2001 el área se elevó a 485.079 ha; de 2002 a 2007 la superficie pasó de 665.055 a 988.323,67 ha (Figura 1). Respecto a los porcentajes correspondientes a cada Comunidad Autónoma (Figura 2), destaca Andalucía, que representa el 58,98% de la producción ecológica nacional, seguida de Aragón, Extremadura y Cantabria.



Los consumidores deben valorar los beneficios de los productos ecológicos (por su calidad organoléptica y nutricional, la ausencia de residuos de plaguicidas, y el modo de producción respetuosa con el medio ambiente), debiendo adecuarse, además, el precio de dichos productos para que cubra los costes de producción y sean asequibles al poder adquisitivo de las clases con menor poder económico.

Los cultivos ecológicos han crecido en el mundo de 24 millones en 2002 hasta llegar a 32,3 millones de hectáreas en 2008, aunque esta cifra está todavía por debajo del 1% del área total cultivada. El mayor incremento ha tenido lugar en Australia/Oceanía con un 37,5%. Los países de mayor superficie de producción ecológica se encuentran en la Figura 3 (FIBL/IFOAM, 2009).



En cuanto a las perspectivas del sector de la agricultura ecológica, cabe indicar varios aspectos relevantes. En primer lugar, en materia de política agraria, se requiere incentivar el sector para incrementar la producción de alimentos ecológicos, lo que necesitará de aumentos en la dotación presupuestaria, tanto en el ámbito de la Unión Europea como en el estatal y autonómico. En segundo lugar, se precisa un cambio de mentalidad y hábitos en el sector agrario, que se oriente hacia la diversificación de los productos y el fomento de la calidad, sin menospreciar la cantidad, aspecto esencial de la seguridad alimenticia para una población en progresivo aumento. Y todo ello, sin

olvidar los considerables beneficios ambientales (menor consumo de energía y recursos no renovables, menor contaminación, etc.) que se pueden derivar de la producción ecológica.

### ***1.2.2. La Producción Integrada***

#### **1.2.2.1. Definición y objetivos**

La producción integrada, según El Titi et al. (1995), es el sistema agrario enfocado a la producción de alimentos y otros productos de alta calidad mediante el uso de recursos naturales y procesos biológicos reguladores, para reemplazar los insumos contaminantes y asegurar una producción agraria sostenible.

Se hace especial énfasis en el enfoque integrado (holístico) del sistema, que incluye la totalidad de la explotación agraria como la unidad básica, en el control de los agroecosistemas, en los ciclos de los nutrientes, y en el bienestar de todas las especies de producción animal. La conservación y la mejora de la fertilidad del suelo y la diversidad del medio ambiente son también componentes esenciales de este sistema de producción.

La producción integrada no está regulada por ninguna normativa de ámbito europeo. La norma española UNE 15500-1 (AENOR, 2001) establece, en su primera parte, los requisitos de carácter general comunes para todos los cultivos hortícolas y, luego, se detallan aquellos que son particulares para cada hortaliza. Además, se han publicado a nivel nacional (BOE) diversas normativas. La primera de ellas fue el Real Decreto 1201/2002, de 20 de noviembre (BOE núm. 287, de 30 de noviembre de 2002), por el que se regula la producción integrada de productos agrícolas de calidad y saludables para el consumidor, mediante el empleo de prácticas de cultivo que respeten el medio ambiente. Posteriormente se publicó la orden APA 370/2004, de 13 de febrero (BOE núm. 43, de 19 de febrero de 2004), por la que se establece una nueva norma técnica específica de la identificación de garantía nacional de la producción integrada de cultivos hortícolas, sin perjuicio de las identificaciones de garantía que puedan establecerse por las

comunidades Autónomas o por entidades privadas (ANECOOP, 2001, EUREPGAP, 2007; Montserrat, 2003).

Por último, y referente al control de residuos de productos fitosanitarios, se debe aplicar lo especificado en la norma de UNE 155001-1 (AENOR, 2001) sobre este tema, con algunas peculiaridades adicionales: se debe garantizar que el contenido en residuos de productos fitosanitarios sea inferior o igual a lo especificado. Estos límites máximos de residuos (LMR) en los cultivos son los que se mencionan en el Real Decreto publicado en el BOE núm. 280, de 18 de febrero de 1994, en la Orden Ministerial de 27 de febrero de 1996, y en posteriores disposiciones legales vigentes que afecten a los referidos LMR, así como la autorización de nuevas materias activas por las autoridades competentes en esta materia.

#### 1.2.2.2. Técnicas de cultivo

En el Real Decreto 1201/2002 se regulan, a nivel nacional, una serie de normas generales que definen las prácticas agrícolas de producción integrada.

##### *1.2.2.2.1. Gestión del suelo y el laboreo*

Algunas de las técnicas que se especifican en dicho documento son las siguientes:

- Mantener y mejorar la fertilidad del suelo. Se definirá un nivel óptimo de humus, se evitarán las prácticas que provoquen la compactación, y se procurará el empleo de cubiertas vegetales que protejan el suelo y el mantenimiento de la biodiversidad del agrosistema.
- Las labores se realizarán respetando al máximo la estructura del suelo y, a ser posible, sin volteo. Se deben evitar las escorrentías, los encharcamientos y la erosión del suelo.
- Como prácticas prohibidas se encuentran la desinfección del suelo mediante tratamientos químicos y el uso sistemático de aperos que destruyan la estructura del suelo y propicien la formación de suela de labor.

#### 1.2.2.2.2. Fertilización

La fertilización debe ser equilibrada, adecuándose la dosis de abono a las necesidades del cultivo, contemplando las posibles fuentes de suministro de nutrientes, así como los mecanismos que producen pérdidas de los mismos, evitando el consumo de lujo y las acumulaciones de compuestos de nitrato que presenten riesgos sanitarios o ambientales.

Se debe prestar una atención especial al mantenimiento de una alta actividad biológica del suelo, pilar básico de la capacidad productiva, que se puede lograr mediante la aportación de productos (enmiendas o abonos) orgánicos de buena calidad.

La fertilización nitrogenada recomendada en la producción integrada se calcula a partir de las exigencias nutritivas del cultivo, que dependen a su vez del rendimiento previsible, deduciendo de la cantidad resultante el nitrógeno disponible procedente de otras fuentes como: el nitrógeno nítrico existente en el suelo al inicio del cultivo; el nitrógeno aportado por el agua de riego; y, el nitrógeno mineralizable derivado de los abonos verdes y de las enmiendas y abonos orgánicos aportados (Pomares et al., 2007b).

Otras normas relacionadas con la fertilización mineral y orgánica son:

- El suministro de nutrientes se debe efectuar fundamentalmente a través del suelo.

Para los macronutrientes, se realizarán programas de fertilización potenciando la aportación de fertilizantes naturales y reduciendo los fertilizantes químicos de síntesis.

- Es obligatorio mantener, al menos, el nivel de materia orgánica del suelo.

- Los microelementos sólo se aplicarán cuando un análisis previo determine su insuficiencia.

- Se aplicarán enmiendas cuando el pH del suelo se aparte sustancialmente del valor óptimo para el cultivo, o cuando las características físicas o químicas del suelo así lo aconsejen.

Como prácticas prohibidas se encuentran el superar la cantidad máxima tolerable de nitrógeno total, de metales pesados, de organismos patógenos y de compuestos tóxicos, así como realizar aplicaciones de nitrógeno nítrico en parcelas colindantes a corrientes de agua.

#### *1.2.2.2.3. Control integrado de las plagas y enfermedades*

El control de las plagas presenta una evidente ventaja sobre la lucha sistemática, en la que se usan productos químicos según un calendario preestablecido de tratamientos.

Los beneficios del control integrado frente a la lucha sistemática son múltiples. Al suprimir varios de estos tratamientos, se consigue un ahorro del coste de dichos tratamientos fitosanitarios, disminuyendo la contaminación del medio ambiente, la aparición de resistencias y de nuevas plagas, así como los riesgos de residuos tóxicos en los vegetales tratados, y todo esto sin que disminuya la eficacia en el control de las plagas. Esta medida ha sido definida por la Organización Internacional de Lucha Biológica (O.I.L.B.) como “La lucha contra los organismos perjudiciales aplicando un conjunto de métodos que satisfagan, simultáneamente, las exigencias económicas, ecológicas y toxicológicas, reservando la prioridad de actuación a los elementos naturales y respetando el límite de tolerancia (nivel de umbral económico)”.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación definió el control integrado de plagas como “Un sistema de tratamiento que, en el contexto del medio ambiente asociado (agroecosistema) y de la diversidad de las poblaciones, utiliza todas las técnicas disponibles para mantener dichas plagas a niveles inferiores a aquellos que causan daños económicos a los cultivos” (F.A.O., 1967).

A pesar de esto, el agricultor puede verse obligado a realizar tratamientos curativos en la práctica, los cuales deben restringirse al máximo.

Los tratamientos deben utilizarse de forma integrada con otras medidas,

procurando realizarlos por encima de cierto umbral de tolerancia, que sea económicamente aceptable.

Los tratamientos recomendados para el control integrado de plagas y enfermedades, son:

- *Tratamientos que favorecen la resistencia de la planta:*

Realizar rotaciones de cultivos.

Practicar asociaciones favorables.

Laboreo adecuado.

Empleo de variedades resistentes adaptadas al suelo y al clima.

Abonado equilibrado y adecuado a los cultivos.

Preservación del medio ambiente y la diversidad para favorecer el control biológico natural.

- *Tratamientos preventivos y disuasorios:*

Aplicación de preparados de plantas y sustancias que estimulen los mecanismos de defensa de las plantas, o sean repulsivos de parásitos, como: purín de ortigas, cola de caballo, decocciones de ajeno y tanaceto, algas calcáreas molidas, y rocas silíceas molidas, entre otros.

Profilaxis y limpieza de utensilios y material diverso para no transmitir bacteriosis o virosis.

Repulsivos por ultrasonidos.

- *Tratamientos mecánicos:*

Plantas trampa.

Setos y barreras.

Cercas de malla contra vertebrados.

Trampas para roedores.

Redes y bandas para pájaros.

Trampas con hormonas sexuales.

- *Termoterapia:*  
Inmersión de bulbos y semillas en agua caliente.  
Solarización.  
Aplicación de vapor de agua al suelo.
- *Control biológico:*  
Cría y suelta de insectos y ácaros predadores o parásitos.  
Utilización del hongo *Arthrobotrys irregularis* que es un predador específico de los nemátodos *Meloidogyne sp.*  
Aplicaciones de insecticidas microbianos como el *Bacillus thuringiensis*, parásito de las orugas lepidópteros.
- *Tratamientos con productos vegetales:*  
Los insecticidas vegetales son eficaces contra pulgones, cochinillas, moscas, mosquitos, etc. Hay que tener cuidado con su uso, pues no son selectivos. Éstos son preparados de pelitre, rotenona, preparados de *Quassia amara*, preparados de *Ryana speciosa*, preparados a base de aceites vegetales, etc.
- *Tratamientos con productos químicos naturales:*  
Principalmente fungicidas, algunos con poder acaricida y bactericida.  
Productos a base de cobre, como el caldo bordelés, de carácter preventivo y semicurativo, se recomiendan para el mildiu, alternariosis y bacteriosis de algunos cultivos.  
Productos a base de azufre, utilizados para combatir los oidios de todos los cultivos, tienen poder acaricida y se aplican en tratamientos preventivos.  
Productos a base de silicato de sodio, utilizados en tratamientos preventivos en invernaderos, contra las podredumbres húmedas de las hortalizas (*Sclerotinia*, *Botrytis*, *Pythium*).

- *Control integral de adventicias:*

Cuando la incidencia de hierbas espontáneas presenta unos niveles bajos, su control puede realizarse aplicando métodos mecánicos y manuales, o mediante la aplicación localizada de herbicidas como *glufosinato*. En cambio, cuando los niveles de infestación presentan un umbral medio o alto, el uso de herbicidas como *alacloro* en preemergencia u *oxifluorfen* en post-emergencia proporcionan unos resultados satisfactorios. El herbicida *propacloro* es menos conveniente que los anteriores en la estrategia de control debido a su alto impacto ambiental.

Algunas prácticas podrían eliminar las malas hierbas, que pueden constituir reservorios de plagas: la eliminación de los restos de cultivo, los cuales son frecuentemente focos de infección de enfermedades para el cultivo siguiente y permiten hospedar algunas plagas; y, la utilización de acolchados (mulching) vegetales, para impedir el desarrollo de las malas hierbas, mejorar la calidad de los frutos y mantener la humedad del suelo.

Por otra parte, algunas plantas no deseadas conocidas como “malas hierbas” pueden tener efectos alelopáticos beneficiosos sobre los cultivos, por lo que es conveniente un estudio previo de la flora del terreno.

### 1.2.2.3. Estado actual y perspectivas futuras

Para que la producción integrada se desarrolle y tenga éxito debe superar el obstáculo de la falta de una reglamentación general clara, que no deje vacíos legales ni provoque ningún tipo de confusión entre los consumidores. A este respecto, la propia OILB (El Titi et al., 1995) publicó un documento básico en el que se indicaba una definición de Producción Integrada, se describían las estrategias básicas, y se establecían las

directrices técnicas y las normas para una serie de prácticas prohibidas, recomendadas y obligatorias para cada cultivo.

Pero ha sido recientemente, en el Real Decreto 1201/2002 ya mencionado en el apartado anterior, donde se han regulado a nivel nacional las normas de producción y los requisitos generales que deben cumplir los operadores que se acojan a los sistemas de producción integrada, así como el uso de las identificaciones de garantía de estos productos. Con ello queda establecido un sistema de tipificación de la producción integrada bastante homogéneo a nivel estatal. Este avance era necesario, ya que uno de los principales problemas a los que se ha enfrentado la producción integrada es que, a pesar de ser uno de los objetivos de los programas de investigación europeos, no existe hasta el momento ninguna directriz comunitaria oficial que regule este sistema de producción.

En el ámbito de la Comunidad Valenciana y de España, la Producción Integrada ha experimentado un retraso en los últimos años debido a que este tipo de producción diferenciada tiene un incremento de costes que el productor no suele compensar con la venta de las cosechas a las empresas de distribución comercial.

### **1.3. Gestión de la fertilidad del suelo y nutrición de los cultivos en la agricultura sostenible**

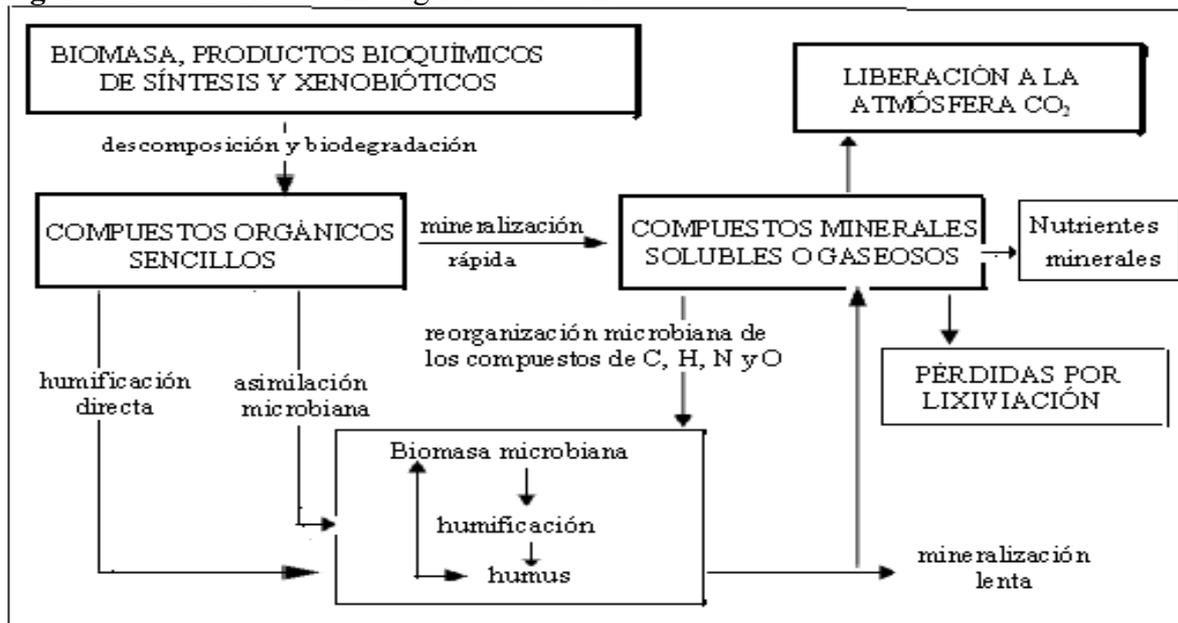
El principal objetivo de la agricultura consiste en producir alimentos de calidad en un agroecosistema donde el ciclo de nutrientes se caracteriza por ser abierto. La fertilidad de los suelos debe mantenerse en unos niveles altos para que se puedan asegurar suficientes alimentos para la población mundial en crecimiento. Para lo cual, es de vital importancia la restitución de los nutrientes que han sido extraídos por las cosechas. La restitución al suelo de los nutrientes extraídos por los cultivos depende del modelo de agricultura (Labrador et al., 2002).

### ***1.3.1. La materia orgánica del suelo***

La fuente original de materia orgánica en los suelos de cultivo procede de la incorporación de restos vegetales y animales, en diferentes estados de descomposición, así como de la biomasa microbiana. Estos restos suelen denominarse “materia orgánica fresca” y se encuentran sometidos a un proceso continuo de transformación bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos. Merece destacarse, por tanto, la naturaleza dinámica de la materia orgánica del suelo, ya que ésta no es un componente fijo ni homogéneo, sino que va transformándose y evolucionando sin cesar (Figura 4).

La materia orgánica fresca, compuesta en su mayor parte por macromoléculas (celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc.), es descompuesta por la flora y la fauna del suelo para dar lugar a compuestos más sencillos (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.). Estos compuestos (sillares estructurales de las macromoléculas originales) pueden mineralizarse por acción microbiana, o bien reincorporarse a los compuestos húmicos, formados mediante polimerización biótica y abiótica de los restos vegetales y animales procedentes de la degradación de los materiales originales. Dentro de estos compuestos húmicos se suele distinguir: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, en función de sus propiedades y composición.

Hay que diferenciar, por tanto, entre “mineralización primaria”, que es la que afecta a la materia orgánica original, y “mineralización secundaria”, que es la que corresponde a las sustancias húmicas. Ésta suele ser más lenta, ya que los compuestos húmicos se caracterizan por su complejidad y formación de enlaces con los componentes minerales del suelo (arcillas y óxidos, fundamentalmente), dificultando así su mineralización.

**Figura 4.** Ciclo de la materia orgánica del suelo

El equilibrio húmico del suelo viene determinado por la coexistencia de los dos procesos indicados: humificación y mineralización (Figura 4). La velocidad de ambos procesos depende, principalmente, de la actividad biológica del suelo y ésta, a su vez, es función de las condiciones climáticas (temperatura y humedad), edáficas (textura, estructura, porosidad, permeabilidad, pH, contenido en elementos minerales, etc.) y culturales (secuencia de cultivos, laboreo, riego, fertilización, control de la erosión, etc.).

Para conservar la fertilidad del suelo es fundamental mantener el contenido de humus en un determinado nivel, particularmente el humus estabilizado. Por ello, es más interesante hacer aportaciones frecuentes de materia orgánica en dosis limitadas que aplicaciones más abundantes en intervalos más largos. La adición de residuos orgánicos y composts de calidad favorece el aumento de los niveles de materia orgánica en el suelo (Drink water et al., 1995; Madejón et al., 2001a; Ruiz, 2002; Marschner et al., 2003; Dinesh et al., 2004), teniendo numerosos efectos positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de dicho suelo.

### *Efectos físicos*

La materia orgánica aumenta la *capacidad calorífica* del suelo, disminuyendo a su vez la conductividad térmica, efecto que favorece el calentamiento de dicho suelo. Los compuestos húmicos, ricos en dobles enlaces conjugados, absorben hasta el 80% de la radiación solar incidente, mientras que los suelos claros no llegan generalmente al 30% (Labrador, 1996).

La *densidad aparente* del suelo disminuye debido a la baja densidad de las enmiendas orgánicas así como a su tendencia a incrementar el tamaño de los poros (Labrador, 1996; Herencia, 2005).

Muchos compuestos orgánicos biodegradables actúan ligando las partículas elementales del suelo, facilitando así la *formación de agregados*. A su vez, las raicillas de las plantas y los micelios de los hongos ayudan a conservar los agregados, lo que también ocurre con los exudados segregados por muchos organismos (plantas y bacterias, principalmente); todo ello contribuye a favorecer la *estabilidad de los agregados* (Herencia, 2005).

Estos efectos favorables de la materia orgánica sobre las propiedades físicas de los suelos se traduce en: un incremento de la *porosidad total*, un aumento de la *permeabilidad* al aire y agua, y un crecimiento de la capacidad de retención de *agua útil*.

### *Efectos químicos*

Las sustancias húmicas constituyen una parte fundamental del complejo de cambio del suelo y, gracias a sus grupos funcionales, aumentan el poder de adsorción de la mayoría de los elementos nutritivos minerales, incrementando la *capacidad de intercambio catiónico* y el *poder tampón* de los suelos (Costa et al., 1991).

Bajo la acción de los microorganismos del suelo, el humus se mineraliza lentamente, liberando su contenido en elementos fertilizantes y actuando, por tanto,

como fuente y reserva de *macronutrientes* y *micronutrientes* para la planta (Smith et al., 1993).

La materia orgánica participa en la formación de complejos fosfo-húmicos, impidiéndose, así, la retrogradación del *fósforo* y manteniéndolo, además, en forma asimilable para las plantas con independencia de la presencia de caliza activa y hierro libre.

Además, potencia la disponibilidad del *potasio* al atenuar la fijación de este elemento en el interior de las unidades estructurales de algunas arcillas.

Por otro lado, forma complejos con los *micoelementos*, mejorando la disponibilidad de éstos para la planta.

La oxidación lenta del humus libera carbono en forma de CO<sub>2</sub>, que se transforma en ácido carbónico y, al disolverse en la solución del suelo, contribuye a solubilizar algunos elementos minerales del mismo, facilitando su absorción por la planta.

Finalmente, algunas sustancias húmicas incrementan la permeabilidad de las membranas celulares en las raíces absorbentes, facilitando la absorción de los nutrientes y favoreciendo, por tanto, la *acción de los elementos minerales*.

### *Efectos biológicos*

La materia orgánica constituye la *fuerza de nutrientes y/o energía de una multitud de organismos* (lombrices, microorganismos, etc.) que hacen del suelo un medio vivo. Proporciona *actividad enzimática*, como por ejemplo la hidrolítica, haciendo disponibles para las plantas algunos de los elementos resultantes de la hidrólisis de macromoléculas en el suelo como proteínas, celulosa, lignina, etc.

Puede ser muy útil en el control de gran número de patógenos vegetales (Marull et al., 1997), tras la adición de composts de calidad con propiedades supresivas.

Por último, promueve la *actividad rizogénica* con efectos estimuladores de los macro- y micro-constituyentes del humus (Mylonas y McCants, 1980).

### ***1.3.2. Importancia de la materia orgánica en la calidad del suelo***

Las prácticas agrícolas convencionales provocan una reducción de la materia orgánica del suelo, siendo este efecto uno de los principales rasgos distintivos de la fuerte degradación de los suelos cultivados que se presenta en algunas zonas de Europa (Bulluck et al., 2002). Esta situación es particularmente grave en la Comunidad Valenciana por las propias características del clima, que favorece las condiciones de mineralización de la materia orgánica. Por lo que es obvia la recomendación de la FAO sobre la incorporación de materia orgánica a los suelos con el fin de potenciar una agricultura sostenible..

La materia orgánica juega un papel muy importante en la fertilización del suelo, lo que se traduce en una mayor productividad del mismo y, en general, en el desarrollo de una agricultura compatible con la conservación del medio ambiente sin contaminación. La estrecha relación existente entre el contenido de la materia orgánica del suelo y la fertilidad, es un hecho ampliamente constatado y aceptado universalmente (Smith et al., 1993); por ello, una de las vías más importantes en la regeneración de los suelos consiste en la incorporación de materia orgánica con el objetivo de restablecer sus propiedades físicas, químicas y biológicas, tal como se ha señalado anteriormente (sección 1.3.1.).

Doran y Parkin (1994) definen la calidad de un suelo como *“La capacidad del mismo para funcionar dentro de un ecosistema sosteniendo la productividad biológica, manteniendo la calidad medioambiental y promoviendo la salud de animales, plantas y del propio hombre.”*

Así pues, es necesario disponer de parámetros que puedan reflejar los cambios que se producirán en relación con el manejo del suelo. Existen multitud de parámetros (físicos, químicos, biológicos y bioquímicos) que pueden indicarnos la calidad de un suelo, ya que influyen en los procesos biogeoquímicos de los nutrientes esenciales de los vegetales.

Los parámetros físicos y químicos han sido utilizados como una medida de la calidad del suelo (Parr y Papendick, 1997); sin embargo, estos parámetros evolucionan muy lentamente, requiriéndose por tanto muchos años para obtener variaciones significativas.

Dentro del estudio del suelo, la actividad microbiana es un buen indicador de la fertilidad biológica y bioquímica del mismo (Nannipieri et al., 1990, 1995; Nannipieri, 1994). Los parámetros biológicos y bioquímicos son muy sensibles a los cambios que se producen en el suelo. La biomasa microbiana varía a gran velocidad y su aumento o disminución proporciona un índice anticipado (precoz) de los cambios que se producen en el suelo (Grego et al., 1993).

Anderson y Domsch (1985) indican que la estimación del estado biológico del suelo puede resultar muy útil para detectar potenciales procesos degradativos, que no podrían detectarse con otros métodos. Por ello, los estudios dirigidos a conocer la actividad microbiana del suelo son de gran relevancia cuando se manejan criterios de calidad de suelos (García y Hernández, 2000).

La Agricultura Ecológica plantea un concepto del suelo como ente vivo, por lo que la actividad biológica del mismo es de trascendental importancia. El conocimiento de los procesos microbianos es muy importante en los sistemas agrícolas, particularmente en aquellos en los que existe una entrada orgánica de nutrientes (Smith y Paul, 1990).

Debido a la compleja dinámica que presenta el ecosistema suelo, la determinación de un solo parámetro microbiano difícilmente puede reflejar la actividad microbiana del mismo; por ello, es aconsejable el estudio de varios parámetros, analizándolos conjuntamente (Nannipieri, et al., 1990; Gil-Sotres et al., 1992; Trasar-Cepeda et al., 2000).

Determinaciones como la biomasa microbiana y la respiración del suelo pueden indicar la cantidad y actividad de la población microbiana existente en dicho suelo. Por otro lado, las actividades enzimáticas (como oxido-reductasas o hidrolasas) ponen de manifiesto la actividad microbiana a través de los cambios que ocurren en los sustratos

correspondientes, que están implicados directamente en los ciclos biogeoquímicos de los elementos nutritivos más importantes (C, N, P, S) (Salam et al., 1999). Además, la estimación o cálculo de índices sencillos, que se obtienen relacionando dos parámetros microbianos, como el coeficiente metabólico ( $qCO_2$ ), que es la relación entre la respiración por unidad de carbono orgánico total (Anderson y Domsch, 1985, 1989), o las medidas de actividad enzimática por unidad de carbono microbiano (Kandeler y Eder, 1993), permite que dichos índices sean utilizados ampliamente como indicadores de calidad del suelo. También se recogen en la bibliografía expresiones más complejas, en las que intervienen más de dos parámetros bioquímicos, como indicadores de la calidad del suelo. En este sentido, se pueden citar la actividad media (Beck, 1984), el coeficiente de hidrólisis (Perucci, 1992), el índice biológico de fertilidad (Stefanic et al., 1984), o la ecuación indicadora de la calidad del suelo (Trasar-Cepeda et al., 1998), entre otras.

Numerosos trabajos científicos publicados tratan sobre los parámetros bioquímicos y biológicos como indicadores de los cambios que se producen al alterar o modificar el manejo del sistema suelo-planta, resumiéndose a continuación solamente aquellos que abordan el estudio de los efectos de la fertilización y de las prácticas de manejo del suelo y el cultivo más relacionados con la temática objeto de estudio de la presente tesis: suelos cultivados en regiones semiáridas frente a suelo naturales (Pascual et al., 2001); sistemas de policultivos con rotaciones y alternativas comparados con sistemas de monocultivo (Dick, 1992); manejo bajo agricultura ecológica versus agricultura convencional (Pérez-Sarmentero et al., 1994; Drinkwater et al., 1995; Albiach et al., 1998; Castillo y Joergensen, 2001); laboreo de conservación en comparación con laboreo convencional (Kandeler et al., 1999; Staley, 1999); incorporación de residuos y laboreo (Staley, 1999); aportación de enmiendas orgánicas con diferentes orígenes y características, como estiércoles, abonos verdes, residuos de cultivos, y residuos urbanos, entre otros (Burgos, 2001; Madejón et al., 2001b; Dinesh et al., 2004); aplicación de abonos (Bossio et al., 1998); y, finalmente, suelos bajo pastoreo frente a suelos cultivados (Robertson et al., 1993).

### ***1.3.3. Nutrientes esenciales de los cultivos***

Para la mejor comprensión de los aspectos relacionados con la nutrición y la fertilización de los cultivos es también necesario analizar los ciclos y las principales características de los nutrientes esenciales. Para que un sistema agrícola sea sostenible, los nutrientes exportados por la cosecha deben volver al suelo, para que puedan ser utilizados por los cultivos siguientes (Urbano, 2002). Con el fin de reducir las necesidades de aportación de elementos fertilizantes, es imprescindible que las pérdidas de nutrientes -por nmovilización, fijación, retrogradación, desnitrificación, volatilización, lixiviación y erosión -sean mínimas. Todas las pérdidas del sistema deben ser restituidas finalmente a través de diferentes vías: fijación biológica o no biológica, mejor utilización de los elementos nutritivos presentes en el suelo, y/o uso eficiente de los nutrientes incorporados a dicho suelo (en forma de restos de cultivo, estiércoles o fertilizantes minerales) en condiciones de máxima eficacia (King, 1990).

A continuación se aborda el estudio de los macroelementos primarios (N, P y K) y secundarios (S, Mg y Ca), y los microelementos esenciales de los cultivos (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B y Cl).

#### **1.3.3.1. Nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento determinante del rendimiento de las cosechas, debido a que favorece el desarrollo vegetativo de las plantas al formar parte de la composición de las proteínas, los ácidos nucleicos, la clorofila y otros polímeros con función estructural, como la lignina. Aproximadamente se considera que este elemento constituye el 2% en peso seco de los tejidos vegetales (Navarro, 2000). Una planta bien provista de nitrógeno brota adecuadamente, adquiere un gran desarrollo de hojas, y tallo y raíces presenta un color verde oscuro. Una buena vegetación hace prever una intensa actividad asimiladora, es decir, un crecimiento activo y un rendimiento alto. Sin embargo, es importante ajustar el momento de su aplicación y la forma del mismo porque la intensidad de su acción podría causar una serie de inconvenientes en la planta, como el retraso en la maduración o una mayor sensibilidad a las enfermedades

y plagas (ya que los tejidos permanecen tiernos y verdes durante más tiempo), además de los graves problemas medioambientales que se han señalado anteriormente (ver la sección 1.1).

#### *1.3.3.1.1. El nitrógeno en el suelo*

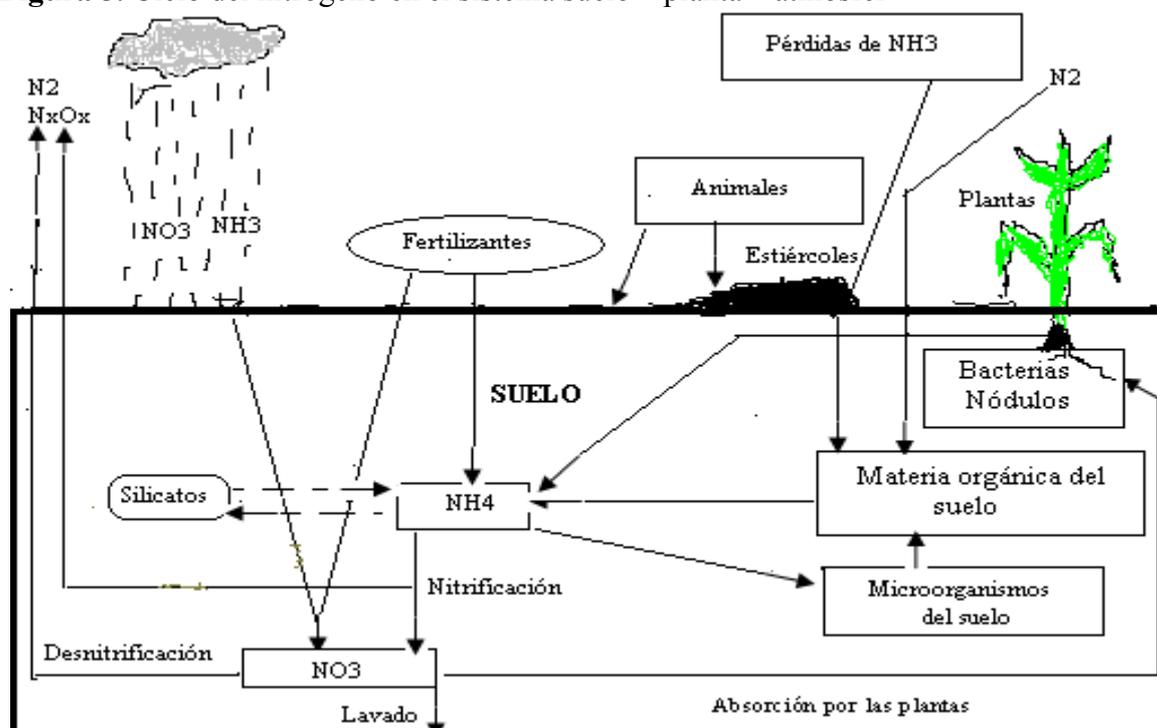
El nitrógeno que se encuentra en el suelo procede en una proporción muy baja de las rocas y minerales; tiene su origen fundamentalmente en la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (Figura 5). La incorporación se realiza mediante fijación simbiótica de las bacterias del género *Rhizobium* localizadas en las raíces de las leguminosas (Rennie y Kemp, 1983a, 1983b), o bien mediante la adición de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Otras vías de aporte de nitrógeno de menor importancia cuantitativa son el agua de riego, la lluvia y la fijación biológica no simbiótica.

El nitrógeno edáfico está en forma de compuestos orgánicos integrados en la materia orgánica del suelo, prácticamente inasimilables de forma directa por las plantas, y en forma de compuestos minerales, iones amonio y nitrato, asimilables por las plantas. Las reservas nitrogenadas del suelo se encuentran, principalmente, en estado orgánico. Así, por lo general, más del 95% del nitrógeno presente en el suelo se encuentra en forma orgánica (Juergens-Gschwind, 1989), que bajo la acción progresiva de la flora microbiana se irá mineralizando hasta las formas químicas que puedan ser asimiladas por las plantas. Dada la importancia de la reserva de nitrógeno orgánico y las transformaciones microbiana, la disponibilidad y el destino del nitrógeno están íntimamente relacionados con la dinámica de la materia orgánica del suelo. El contenido en nitrógeno total de la capa arable de los suelos se encuentra en un rango que oscila entre 2 y 4 t N/ha (Whitehead, 1995). El 5% del nitrógeno orgánico está contenido en la biomasa microbiana (Anderson y Domsch, 1980). De cualquier manera, sólo una pequeña proporción del nitrógeno del suelo, equivalente a 2-40 kg N/ha, está en forma de iones nitrato y amonio fácilmente asimilables, aunque en suelos con cultivo intensivo de hortalizas se han llegado a encontrar valores

superiores a  $114 \text{ kg N-NO}_3^-/\text{ha}$  (Gómez, 2001). En las capas más superficiales de la mayoría de suelo agrícolas, del 3% al 14% del nitrógeno total se encuentra como nitrógeno amoniacal no intercambiable fijado a las arcillas, con lo que poco a poco se irá transformando en disponible para las plantas (Scheller, 1992).

La dinámica del nitrógeno en el suelo es una sucesión compleja de reacciones de mineralización y polimerización, por lo que este nutriente se recompone continuamente cada vez que nuevas circunstancias atmosféricas o intervenciones del agricultor rompen el frágil equilibrio existente en el suelo.

**Figura 5.** Ciclo del nitrógeno en el sistema suelo – planta – atmósfer



Es importante conocer los efectos simultáneos y divergentes que tienen lugar cuando se hace una aportación de nitrógeno al suelo, ya que el balance neto será el que va a repercutir en los cultivos.

Predecir la cantidad de este elemento que va a estar disponible para la planta es muy difícil, debido a la naturaleza no estática del nitrógeno en el suelo. Hay que tener en cuenta que, además de la inmovilización temporal de nitrógeno durante la proliferación microbiana que ocurre ante una aportación de materia orgánica fresca, se

pueden producir pérdidas de nitrógeno asimilable (Wander et al., 1994; Drinkwater et al., 1998) como consecuencia de:

- la volatilización en forma de amoníaco, especialmente en suelos de pHs altos.
- la desnitrificación del nitrato en gas nitrógeno u óxidos de nitrógeno, en condiciones de exceso de humedad del suelo.
- La lixiviación del nitrato debido a que es extremadamente soluble en agua y no es retenido por el complejo arcillo-húmico.

A su vez, es difícil alcanzar un equilibrio adecuado entre el aporte de nitrógeno y el consumo por parte de los cultivos en aquellos suelos que contengan niveles altos de manera orgánica, pero que posean unos índices de mineralización bajos. Se ha sugerido que el nitrógeno puede ser usado más eficientemente en los sistemas de producción ecológicos, como consecuencia de la liberación gradual de dicho elemento en función de los requerimientos de los cultivos, relación que es mucho más estrecha de fertilizante mineral (Ardenclarke y Hodges, 1988). Resulta más fácil controlar la dinámica del nitrógeno si se realizan aplicaciones de materia orgánica y otras sustancias de mayor estabilidad. Las dificultades surgen cuando el nitrógeno está en forma soluble o gaseosa, ya que las pérdidas se hacen inevitables, acumulándose niveles excesivos de nitrógeno mineral en el suelo, que se convierten en una fuente potencial de contaminación por nitratos de las aguas subterráneas (Owens et al., 1994; Meek et al., 1995; Zhou et al., 1997).

#### *1.3.3.1.2. Fuentes de nitrógeno en agricultura sostenible*

Las distintas fuentes de nitrógeno a considerar dentro de un sistema agrícola, cada cual con una diferente magnitud en función de múltiples parámetros, son las siguientes:

##### *Deposición atmosférica*

El agua de lluvia contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, estimadas en unos 15 kg N/ha y año, pudiendo alcanzar hasta 30 kg N/ha y año (Lampkin, 1998).

##### *Fijación biológica simbiótica*

No hay que olvidar la aportación por fijación del nitrógeno atmosférico que realizan las leguminosas asociadas con bacterias simbióticas del género *Rhizobium*. Estas bacterias forman nódulos en las raíces de las leguminosas y utilizan los compuestos de carbono producidos por la planta como fuente de energía, para fijar el nitrógeno atmosférico. Existen grandes dificultades para determinar una cantidad media de nitrógeno fijado por las leguminosas, pero las estimaciones que se han

realizado en praderas de gramíneas y trébol oscilan entre 60 y 200 kg N/ha y año (Lampkin, 1998). A su vez, Herridge y Bergersen (1988) hicieron estimaciones de distintos cultivos de leguminosas, obteniendo un promedio de 100-200 kg N/ha y año para cultivo de soja, llegándose a encontrar tasas de fijación en alfalfa de hasta 500 kg N/ha y año.

#### *Fijación biológica no simbiótica*

Es realizada por algas verdes azuladas o cianofíceas, que son organismos libres que viven en casi cualquier condición donde haya suficiente luz solar para realizar la fotosíntesis. La cantidad de nitrógeno que estas algas aportan a los suelos se ha estimado entre 10 y 15 kg N/ha y año (Lampkin, 1998).

En un estudio realizado en los arrozales de la Comunidad Valenciana se han llegado a obtener valores de fijación de nitrógeno entre 13 y 34 kg N/ha y año, presentándose los registros más bajos cuando se aplicaba mayor cantidad de fertilizante nitrogenado (Carreres et al., 1996). A su vez, las bacterias *Azospirillum* tienen capacidad de fijar pequeñas cantidades de nitrógeno y promueven el crecimiento de las raíces de las plantas, con lo que se mejora el aprovechamiento de otros nutrientes del perfil del suelo. En las condiciones más favorables, se pueden llegar a evaluar unas entradas entre 10 y 80 kg N/ha y año a través de esta fuente (Marschner, 1995).

#### *Estiércoles, restos de cultivos y abonos verdes*

Como ya se ha indicado anteriormente (sección 1.2), en los sistemas agrícolas sostenibles es muy importante la aportación de enmiendas orgánica, ya que con ellas se reciclan muchos nutrientes, entre ellos el nitrógeno, permitiendo así su liberación lenta. Hay que tener en consideración que la aplicación de materia orgánica fresca o muy rica en carbono desencadena una intensa actividad microbiana, que en una primera fase inmovilizará el N mineral del suelo al emplearlo en el crecimiento de su población y en su actividad, pudiendo generar deficiencias en los cultivos.

El contenido en nitrógeno de los estiércoles depende de muchos factores: la especie animal, la clase y proporción del material utilizado para la cama, el sistema de estabulación, la clase de pienso, el tratamiento de estabilización seguido, etc. De ahí que el contenido de nitrógeno en los estiércoles sea muy variable, con valores que oscilan entre 1% y 4% de N, correspondiendo, en general, los valores más bajos al

estiércol bovino, y los más altos al estiércol de aves o gallinaza (Pomares y Canet, 2001).

Teniendo en cuenta que en los estiércoles la mayor parte del nitrógeno se encuentra en forma orgánica, se requiere una mineralización previa a formas de amonio o nitrato para poder ser absorbido por las plantas. La tasa de mineralización de los estiércoles también es altamente variable, siendo un parámetro fundamental para conocer el valor como fuente de nitrógeno de los estiércoles (Pomares y Albiach, 2005).

#### *Agua de riego*

Es una importante fuente de nitrógeno en algunas zonas, especialmente en las áreas de agricultura intensiva de regadío con altos aportes de fertilizantes, o bien de ganadería intensiva con aplicaciones elevadas de estiércol y purines al suelo. Es bien conocida la estrecha relación que existe entre el contenido de nitrógeno en las aguas subterráneas y las cantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados a estas áreas.

#### *Abonos*

El Reglamento CE 889/2008 recoge en su Anexo I los fertilizantes nitrogenados que pueden utilizarse en la producción ecológica.

Ejemplos de ellos son el guano, productos o subproductos de origen animal (harina de sangre, polvo de hueso, harina de pescado, lana, etc.) y productos o subproductos de origen vegetal (harinas de tortas oleaginosas, cáscara de cacao, etc.), entre otros.

#### 1.3.3.2. Fósforo

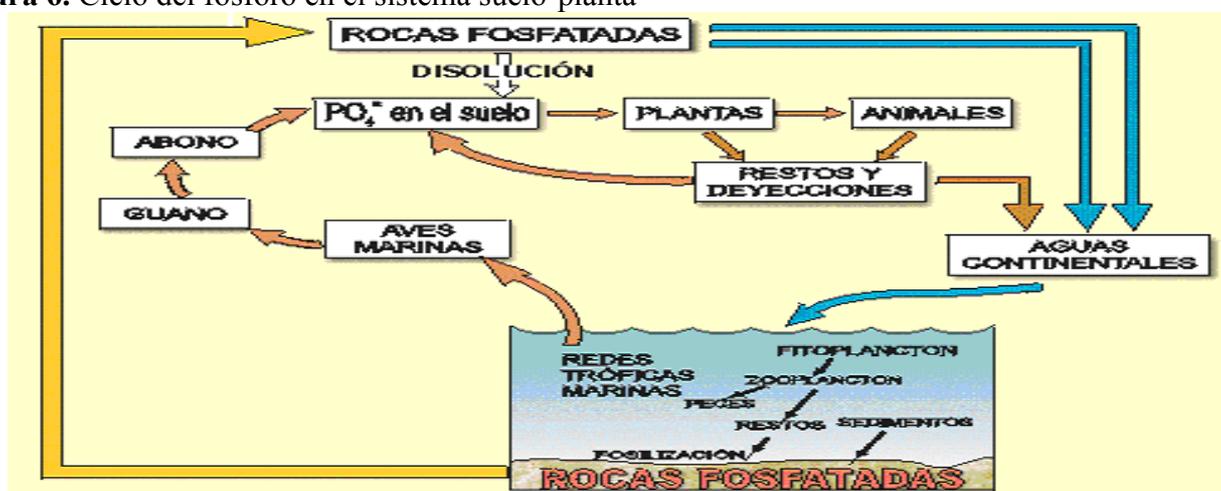
El fósforo es un elemento esencial de los vegetales, cuyo riqueza media en  $P_2O_5$  es del orden del 0,5% al 1% de la materia seca (Gros Domínguez, 1992). Tiene especial importancia como constituyente de las membranas celulares y los ácidos nucleicos. Es un factor de precocidad que activa el desarrollo inicial de la planta y acorta el ciclo vegetativo, favoreciendo así los periodos de vegetación críticos del cultivo, como son

el cuajado, la maduración y el movimiento de reservas. En este aspecto, juega un papel compensador con el nitrógeno. También aumenta la resistencia de las plantas al frío y a las enfermedades.

### 1.3.3.2.1. El fósforo en el suelo

A diferencia del nitrógeno, el fósforo sí que se encuentra de modo natural en el suelo en cantidad apreciable, ya que forma parte de la roca madre como minerales fosfatados insolubles, siendo estas formas las reservas más importantes de dicho elemento (Figura 6).

**Figura 6.** Ciclo del fósforo en el sistema suelo-plantas



En la materia orgánica, la relación  $N/P_2O_5$  es del orden de 4. Una hectárea de tierra que libera por mineralización 60 kg/ha/año de nitrógeno, liberará también unos 15 kg de  $P_2O_5$  (Gros y Domínguez, 1992).

La fracción asociada a la materia orgánica representa un 30% - 50% del fósforo total en muchos suelos, encontrándose el resto en forma de compuestos inorgánicos (Paul y Clak, 1996). Las formas iónicas del fósforo se encuentran fijadas por diversos componentes del suelo, como el complejo arcillo-húmico, que tiene capacidad de retenerlas mediante puentes de calcio, y los hidróxidos de hierro y aluminio de naturaleza coloidal, o bien, libres en la solución del suelo. Es generalmente aceptado que los componentes de fósforo orgánico que se encuentran en la solución del suelo no

están directamente disponibles para la planta y que deben ser mineralizados por fosfatasas extracelulares antes de ser absorbido por las plantas (Tate, 1985). Estas fosfatasas extracelulares proceden de los exudados de las raíces de las plantas y muchos componentes organotróficos de la microflora del suelo. Las fosfatasas son enzimas inducibles, que se generan en función de la necesidad de fósforo, por lo que su actividad es usualmente mayor cuando la concentración de fósforo en la solución es baja. Aunque el  $P_2O_5$  adsorbido no representa más que una pequeña parte del fósforo total, es fundamentalmente la fracción de fósforo asimilable o cambiante. El fósforo que necesitan las plantas lo toman de la solución del suelo, en forma de iones fosfato ( $HPO_4^{2-}$  y  $H_2PO_4^-$ ). La concentración de éstos en la solución tiende a ser constante, alcanzando valores del orden de 0,1 a 1 mg P/mL, por lo que a medida que la planta los va absorbiendo, los coloides del suelo ceden los fijados en su superficie para restablecer el equilibrio alterado.

En relación con el fosforo, el humus juega un papel relevante: por un lado, proporciona una reserva de fósforo potencialmente asimilable para las plantas, que se liberará fácilmente por mineralización, y, por otro, desempeña una función de protección de los iones fosfatos por formación de humofosfatos, impidiendo así la retrogradación del fósforo a fosfatos insolubles.

Una fertilización prolongada de fósforo superior a las necesidades de los cultivos provocará una acumulación del mismo en el suelo, ya que debido a su escasa movilidad, los iones fosfato no pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas cuando estén separados por una distancia de más de 2 mm. Estos aspectos deben tenerse en cuenta en la programación de la fertilización, debido a que una proporción considerable del abono que se añade no va a ser absorbido por las plantas y sólo contribuirá a enriquecer las reservas del suelo. Desde el punto de vista agronómico, el fósforo se considera bastante inmóvil, por lo que su posible pérdida del suelo por lixiviación es poco probable; pero como ya se ha indicado, deben evitarse los posibles problemas medioambientales que podrían derivarse de una fertilización excesiva con fósforo.

Además, hay que tener en cuenta que los organismos del suelo juegan un papel importante en la movilización del fósforo de la solución de dicho suelo. La absorción anual de fósforo por parte de la biomasa microbiana excede a menudo a la de las plantas superiores (Paul y Clark, 1996). Sin embargo, esta inmovilización es a corto plazo, ya que tras la muerte de las células microbianas puede mineralizarse, convirtiéndose en disponible para las plantas. La mineralización del fósforo orgánico se inhibe cuando hay un gran suministro de fósforo lábil en el suelo, y se induce en condiciones en las que el fósforo disponible es limitado (Smeek, 1985). Se ha estimado que dicha mineralización supone anualmente 6 kg P/ha en los suelos de cultivo, y 15 kg P/ha en los suelos de pastizal (Gasser, 1962). En un estudio realizado en Suiza (Oberson et al., 1996), se encontró que la actividad de las fosfatasas ácidas fue mayor en suelos bajo cultivo ecológico y biodinámico que en los de manejo convencional, debido a que la incorporación de materia orgánica al suelo trae consigo la mineralización del fósforo orgánico, promoviendo así el ciclo biogeoquímico de dicho elemento.

#### *1.3.3.2.2. Fuentes de fósforo en agricultura sostenible*

La absorción de fósforo por la planta, debido a la lenta difusión de éste, depende mucho más del tamaño del sistema radical, de la densidad de pelos radiculares, y de la intensidad de sus ramificaciones, que de la cantidad que se aporta, ya que durante el periodo de crecimiento de la planta es poco probable que el ion fosfato se absorba a mayor distancia que el diámetro de las raíces más activas, produciéndose marcadas zonas “vacías” cerca de las superficies de las raíces absorbentes.

Es por ello que en los sistemas de agricultura sostenible hay que hacer especial mención al papel de las micorrizas en la asimilación del fósforo por la planta. La asociación micorrícica está basada en una relación simbiótica de un hongo con la planta, donde las hifas del hongo se extienden desde las raíces de la planta al suelo que las rodea, incrementando mucho la zona de absorción de dichas raíces.

Además, la fina estructura del micelio puede ocupar poros más pequeños, haciéndose más efectiva que los pelos radiculares a la hora de absorber agua y nutrientes. Esta aportación se realiza a cambio de hidratos de carbono sintetizados por la planta. Generalmente, las micorrizas no se consideran importantes en los sistemas de agricultura convencional, ya que se aplican grandes cantidades de fosfatos solubles, los cuales inhiben la micorrización; pero no sucede lo mismo en los sistemas donde se busca la aplicación racional de los insumos, dada la función de las micorrizas para aumentar la disponibilidad de fósforo asimilable para las plantas.

Para incrementar el contenido en fósforo de los suelos, las prácticas que se suelen emplear en los sistemas sostenibles son las siguientes:

#### *Acolchado*

Esta práctica optimiza la absorción de fósforo porque favorece el desarrollo radicular en las partes del suelo donde se concentran las sustancias en descomposición con fósforo orgánico, y también porque mantiene la superficie del suelo húmeda, aumentando así el tiempo en que las raíces pueden absorber los iones fosfato.

#### *Abonos verdes*

Con la bajada de pH que se produce en el suelo durante su descomposición, se propicia el aprovechamiento de formas menos asimilable de fósforo, con lo que aumenta su disponibilidad para el cultivo posterior.

#### *Estiércoles*

El contenido de fósforo en los estiércoles es también altamente variable, entre 0,50% y 3,0% de  $P_2O_5$ . Una parte importante del fósforo se presenta en forma orgánica, que exige su mineralización para convertirse en formas asimilables (monofosfato y bifosfato) para las plantas. Y en la fracción mineral, el fósforo se encuentra en su mayor parte en forma de bifosfatos, que es asimilable para

las plantas (Pomares y Canet, 2001).

### *Abonos minerales*

En agricultura ecológica está permitido el empleo de determinados fertilizantes minerales, que no hayan sufrido ningún proceso con productos químicos de síntesis y que estén contemplados en la normativa europea: Reglamento (CE) 889/2008. Son minerales naturales que se transforman por medios físicos en materiales aptos para ser aplicados como fertilizantes, pero su aplicación está justificada únicamente en caso de necesidades concretas como consecuencia de que no se pueda conseguir una nutrición adecuada únicamente con el aporte de productos orgánicos. La necesidad de aplicación de fertilizantes minerales al sistema debe estar reconocida por el organismo de control o la autoridad de control correspondiente; se suele recomendar que se aporte junto a los residuos orgánicos que se vayan a aplicar, en lugar de directamente en el suelo, para reducir las pérdidas y mejorar su disponibilidad.

#### 1.3.3.3. Potasio

Junto con el calcio, el potasio es el elemento principal constituyente de la fracción mineral de las plantas (1-3% de la materia seca). Las funciones del potasio son muy variadas: actúa como regulador iónico; interviene en la fotosíntesis y en la formación de los carbohidratos; disminuye la transpiración de la planta, dotándola de una mayor resistencia a la sequía y mejorando el aprovechamiento del agua de riego; y, en combinación con el fósforo, favorece el desarrollo de las raíces e incrementa la resistencia a las plagas y enfermedades.

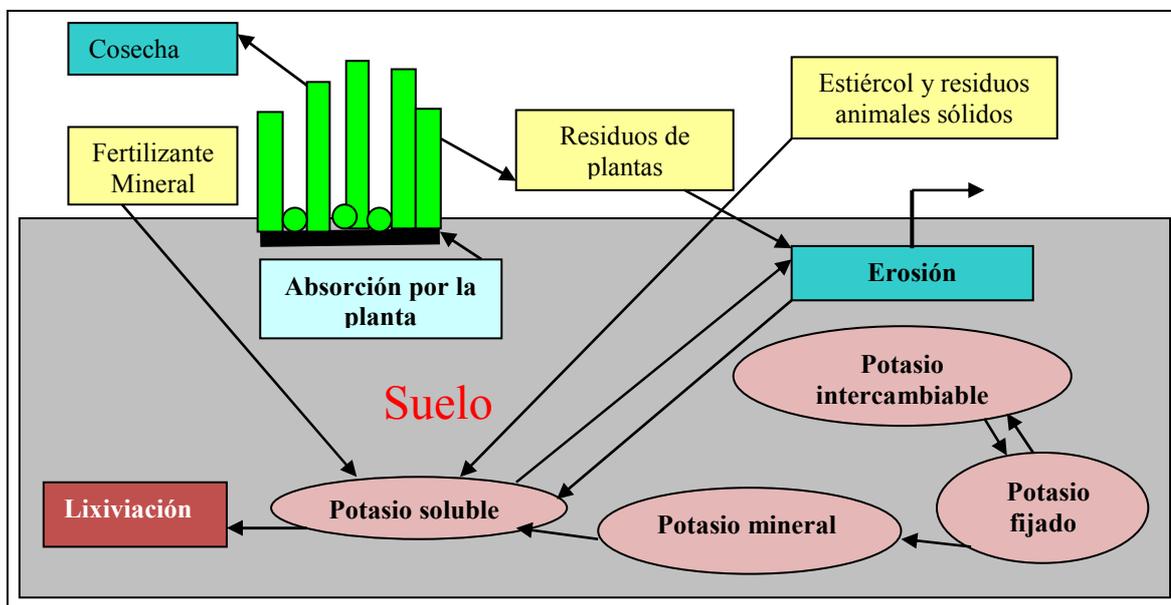
##### *1.3.3.3.1. El potasio en el suelo*

El potasio está presente en las formaciones cristalinas y volcánicas, pero en forma de silicatos, prácticamente insolubles, por lo que las plantas no pueden absorberlo (Figura 7). Los problemas con este nutriente están más relacionados,

por lo general, con su disponibilidad para la planta que con su escasez.

En el suelo, el potasio se puede encontrar en cuatro formas diferentes: como componente de los minerales de dicho suelo, fijado, intercambiable y en solución.

**Figura 7.** Ciclo del potasio en el sistema suelo-planta



Los valores típicos en el suelo son de 2,3 kg K/ha en la solución del suelo, entre 40 y 500 kg K/ha de potasio intercambiable, y de 25000-50000 kg K/ha en formas no intercambiables (Kofod, 1978; Syers, 1998). El potasio intercambiable, que se encuentra retenido por el complejo arcillo-húmico, y el soluble en agua constituyen un reservorio fácilmente disponible, que se mantiene en equilibrio dinámico con las otras formas. Sin embargo, como ya se ha visto, las fracciones fijadas en el interior de los retículos cristalinos de las arcillas y de los constituyentes minerales de la roca madre están presentes en el suelo en proporciones muchos mayores, liberando el potasio mediante largos procesos de meteorización.

Los estudios realizados por Ander-Clarke y Hodges (1988) pusieron de manifiesto que los elevados contenidos en materia orgánica encontrados en los suelos bajo manejo ecológico incrementaban la capacidad de intercambio catiónico del suelo,

aumentándose así la capacidad de retención de nutrientes como el potasio. En tales circunstancias, y dada la gran proporción de potasio intercambiable contenido en el complejo arcillo- húmico del suelo, suele haber menos migración y fijación del potasio en los retículos de las arcillas. A su vez, Scherer (1993) determinó los contenidos de potasio intercambiable en el suelo durante el crecimiento de cultivos de remolacha azucarera y forrajera bajo manejo convencional, con el fin de determinar los valores óptimos de fertilizantes potásicos a aplicar. La conclusión que se extrajo de dicho estudio fue que, bajo condiciones favorables, como las que se dan a menudo en agricultura ecológica, la fertilización potásica podía ser eliminada, ya que los bajos niveles de potasio intercambiable en el suelo parecen promover la movilización de los nutrientes. Además, mediante la micorrización propia de los suelos con manejo ecológico se puede potenciar el suministro de potasio a los cultivos. Así, Clark (1997) detectó que las micorrizas arbusculares en suelos ácidos aumentaban la absorción de potasio por las plantas en una rotación de cultivos de maíz y soja. En contraste con el efecto inhibitor que se presenta ante elevados contenidos de fósforo, Kurle y Pileger (1996) encontraron una correlación positiva entre las poblaciones de esporas de hongos micorrícicos y el contenido de potasio del suelo.

No resulta sencillo estimar las necesidades de potasio de un cultivo, ya que la absorción del mismo se realiza con mucha facilidad. En un medio rico en potasio se puede producir así una absorción superior a las necesidades, es decir un consumo de lujo. En el diseño de la fertilización hay que tener en cuenta también que el calcio y el magnesio presentan un claro efecto antagónico respecto al potasio, lo que puede dar lugar a situaciones de deficiencia potásica por exceso de calcio activo o de magnesio asimilable. A su vez, grandes cantidades de potasa podrían perjudicar la absorción de estos dos elementos, provocando carencias.

No se suelen producir elevadas pérdidas de potasio por lavado. Se han encontrado valores anuales del orden de 0,2-5 kg K/ha en suelos arcillo-margosos, y de 3-20 kg K/ha en suelos areno-margosos, dependiendo de la cantidad de lluvia y del cultivo (Johnston y Goudding, 1990). Estas pérdidas pueden ser significativas solamente en

suelos arenosos o sobre cretas, en los que se han registrado salidas de 60-94 kg K/ha y año (Juste et al., 1982; Ylaranta et al., 1996; Heming y Rowell, 1997). En este tipo de suelos hay que tener un cuidado especial, debido a que la mayoría de las sales de potasio comerciales son de rápida solubilidad, pudiéndose producir pérdidas de este elemento en el sistema

#### *1.3.3.3.2. Fuentes de potasio en agricultura sostenible*

##### *Estiércoles*

El contenido de potasio en los estiércoles, al igual que en los casos del nitrógeno y fósforo, es ampliamente variable, oscilando entre 2% y 3% de  $K_2O$ . Y la única forma de presentación del potasio es la mineral (cloruro, sulfatos, fosfatos, nitratos, etc.), por lo que su disponibilidad para las plantas es similar a la que presentan los fertilizantes potásicos.

##### *Acolchados*

Los materiales que se suelen emplear, como la hierba seca y la paja, son importantes fuentes de potasio. Sin embargo, el contenido en el resto de nutrientes es mucho más bajo, por lo que hay que tenerlo en cuenta para evitar posibles deficiencias.

##### *Abonos minerales*

Algunas enmiendas orgánicas, particularmente las que no tienen un alto contenido en paja, son deficitarias en potasio, por lo que puede ser interesante incorporar fertilizantes minerales como complemento. Las principales fuentes de potasio mineral proceden de los depósitos marinos de sal, siendo las enmiendas minerales potásicas más empleadas el patentkali, el sulfato de potasio y la sal potásica en natural o kainita (Reglamento(CE) 889/2008).

#### 1.3.3.4. Elementos secundarios

El calcio, el magnesio y el azufre constituyen el grupo de los macronutrientes secundarios. En general, las plantas los necesitan en menores cantidades que el nitrógeno y el potasio; sin embargo, en algunos casos, las necesidades de magnesio y azufre pueden ser tan importantes como las de fósforo (Gros y Domínguez, 1992; Domínguez, 1997; Navarro y Navarro, 2003).

##### *1.3.3.4.1. Calcio en el suelo*

El calcio se encuentra en el suelo en diferentes formas químicas: carbonatos (de calcio y magnesio), dolomita, apatito, feldespato, silicato, calcio fijado por el complejo adsorbente del suelo y calcio ligado a la materia orgánica, formando humatos de calcio. Los factores del suelo más influyentes en la disponibilidad de calcio para las plantas son los siguientes:

- 1) El grado de saturación del complejo de cambio.
- 2) El tipo de coloide del suelo.
- 3) La naturaleza de los iones complementarios adsorbidos por los coloides del suelo.

En suelos con pH neutro-básico, las plantas pueden extraer el calcio necesario sin dificultades; sin embargo, su aportación puede ser necesaria para mejorar la estructura del suelo, especialmente en los casos que existan problemas salinos.

En los suelos ácidos, el calcio suele ser un elemento deficiente, requiriéndose la técnica del “encalado”.

##### *El calcio en la planta*

El calcio es un elemento esencial en la nutrición de las plantas. Se absorbe bajo la forma de ión  $\text{Ca}^{2+}$  y se encuentra en grandes cantidades en las hojas, la mayor parte acumulado extracelularmente, y en algunas especies también se presenta en el interior de las células, precipitado en forma de oxalato cálcico. Constituye del 2,2% al 3% del peso

seco de las hojas (Urbano, 2002).

La falta de calcio da lugar a un débil desarrollo de los brotes terminales de la plantas y de los tejidos apicales de las raíces, provocando paradas en su desarrollo vegetativo. Este elemento tiene poca movilidad en la planta y en el suelo.

#### 1.3.3.4.2. Magnesio en el suelo

Como en el caso del calcio, en el suelo existen varias fuentes minerales que contienen magnesio: biotita, dolomita, clorita, serpentina y olivino. La descomposición de estos minerales libera magnesio, que se incorpora a la solución del suelo, pudiendo ser inmovilizado por los microorganismos, fijado por los coloides y también puede reprecipitar como mineral.

El magnesio disponible para las plantas en el suelo se encuentra en forma cambiante e hidrosoluble. Su comportamiento es similar al del calcio y el potasio, es decir, que depende de la cantidad en que se encuentra, del grado de saturación de magnesio, de la naturaleza de los otros iones cambiables, y del tipo de arcillas. Según Urbano (2002), para una adecuada disponibilidad de los cationes de cambio, deben encontrarse en las proporciones siguientes:

$\text{Ca}^{2+}$	60% de la CIC
$\text{Mg}^{2+}$	10% de la CIC
$\text{K}^{+}$	2% de la CIC
$\text{Na}^{+}$	0-3% de la CIC

CIC: capacidad de intercambio catiónico

#### *El magnesio en la planta*

Las plantas absorben el magnesio en forma de ión  $\text{Mg}^{2+}$ . Se trata de un elemento móvil, capaz de translocarse rápidamente de las partes viejas a las jóvenes en caso de deficiencia.

El magnesio es el único constituyente mineral de la molécula de la clorofila, lo que le hace imprescindible para el buen desarrollo de la fotosíntesis. Además, se encuentra en cantidades apreciables en las semillas. Por otra parte, el magnesio es fundamental en

la actividad de numerosas enzimas relacionadas con el metabolismo de los hidratos de carbono, la respiración celular, el metabolismo del nitrógeno, y junto con el azufre, en la síntesis de aceites esenciales. Constituye del 0,15% al 1% del peso seco de las hojas (Urbano, 2002).

La deficiencia inicial se muestra como una clorosis entre los nervios de las hojas; mientras los nervios permanecen verdes, los espacios internerviales pierden su color. Los tejidos se vuelven cloróticos con rapidez, y ello puede suponer la primera manifestación visible de la carencia. Además, provoca falta de ahijamiento en los cereales y vecería en los frutales.

#### *1.3.3.4.3. Azufre en el suelo*

El azufre aparece en el suelo como componente de la materia orgánica, como sulfato, como azufre elemental y en forma de sulfuros.

En la mayor parte de los suelos cultivados, el azufre se encuentra en forma orgánica o en forma de sulfatos solubles que pueden estar en la solución del suelo o adsorbidos en el complejo arcillo-húmico. Gran parte del azufre del suelo se encuentra en forma orgánica, ya que, al ser un constituyente de las proteínas de los vegetales, cuando éstas son devueltas al suelo y convertidas en humus, el azufre permanece en forma orgánica.

Otra fuente de azufre es la atmósfera contaminada por la actividad industrial, siendo el agua el vehículo que lo arrastra e incorpora al suelo. Cuando la cantidad de azufre incorporada al suelo es muy grande, se pueden ocasionar problemas de toxicidad en las plantas. La contaminación es una fuente de azufre tan variable como lo es la actividad industrial; así, en zonas lluviosas, si la actividad industrial desaparece y con ella la contaminación, rápidamente se aprecian carencias de azufre en los cultivos.

En los suelos de climas áridos se acumulan grandes cantidades de sulfatos (cálcicos, magnésicos, sódicos y potásicos) precipitados en el perfil del suelo; sin embargo, en zonas lluviosas el ion sulfato se lava muy fácilmente (Urbano, 2002).

### *El azufre en la planta*

Las plantas absorben el azufre casi exclusivamente bajo la forma de ion  $\text{SO}_4^{2-}$  a través de las raíces; no obstante, las hojas pueden absorber pequeñas cantidades en forma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), sin superarse ciertos niveles que podrían resultar tóxicos.

Las funciones específicas del azufre en el crecimiento de las plantas y en su metabolismo son numerosas e importantes:

- 1) Factor indispensable en la síntesis de aminoácidos (cisteína, metionina, etc.) y proteínas.
- 2) Activador de ciertas enzimas.
- 3) Constituyente de ciertas vitaminas, coenzima A, y del glutatión.
- 4) Está presente en los aceites esenciales, incrementando su contenido en las plantas.

En algunos cultivos como el trigo, el maíz y la patata, el azufre se encuentra en cantidades iguales o ligeramente inferiores al fósforo. Sin embargo, en otras especies como la alfalfa, la col y el nabo se suele encontrar en cantidades superiores. Constituye del 0,15% al 0,5% del peso seco de las hojas (Urbano, 2002).

La deficiencia de azufre retrasa el crecimiento de las plantas, provocando una clorosis uniforme de la plantación, plantas raquílicas y tallos finos. Aunque las deficiencias de azufre y de nitrógeno se pueden confundir por la similitud de sus síntomas, existe una diferencia significativa entre ambos: el azufre no se desplaza fácilmente de las hojas viejas a las jóvenes, como lo hace el nitrógeno. Cuando hay carencia de azufre la aportación de nitrógeno agrava esta carencia. Además, la deficiencia de azufre puede causar una acumulación de nitrógeno no proteico en la planta.

#### 1.3.3.4.4. Fuentes de calcio, magnesio y azufre en agricultura sostenible

Muchas de las fuentes ya citadas para el nitrógeno, fósforo y potasio - estiércoles, restos de cultivos, abonos verdes, acolchado, aguas de riego y deposición atmosférica, entre otras -aportan también azufre, calcio y magnesio.

De manera más específica, el Anexo I del Reglamento (CE) 889/2008, de la Comisión, recoge los fertilizantes azufrados, cálcicos y magnésicos autorizados para ser utilizados en producción ecológica, como: carbonato de calcio (creta, marga, arena calcárea, etc.), magnesio y procedente de la producción de sal al vacío, azufre elemental, y solución de cloruro de calcio, principalmente.

#### 1.3.3.5. Microelementos

Los microelementos son los nutrientes presentes en la planta en muy pequeñas concentraciones, pero cuyo papel en el metabolismo del vegetal es esencial. Son constituyentes esenciales de las enzimas que catalizan la síntesis de las materias orgánicas (hierro, cobre, etc.), o bien, simplemente, activadores de las mismas, pudiendo ser parcialmente reemplazados por otros iones metálicos.

La absorción de microelementos en cantidades insuficientes provoca en la planta alteraciones metabólicas, acompañadas de manifestaciones morfológicas y/o estructurales, llamadas “enfermedades carenciales”, que se exteriorizan de formas diversas según el elemento deficitario (clorosis, necrosis, deformación de hojas, coloraciones diversas, insuficiencia de la vegetación, etc.

Desde el punto de vista agrícola, hay que distinguir (Mortvedt et al., 1983; Loué, 1988) dos categorías de carencias:

- 1) Absolutas o primarias, causadas por la extraordinaria pobreza del medio suelo en un elemento, de forma que la planta no puede absorberlo en cantidad suficiente. Bastará añadir al suelo el elemento que falta para que la carencia se corrija

2) Carencias condicionadas, en cuyo caso el suelo no carece del elemento considerado, pero la planta no puede absorberlo porque dicho elemento se encuentra en condición no asimilable, por un bloqueo, debido generalmente a un pH demasiado elevado (alcalino), o por un antagonismo iónico.

La carencia es indirecta, condicionada por el medio desfavorable. No basta añadir el microelemento en cuestión al suelo, porque no será absorbido ni asimilado; es preciso modificar las condiciones del medio o bien aplicarlo por las hojas.

La cuestión de las carencias es muy complicada por el hecho de que no se pueden añadir microelementos sistemáticamente al suelo para prevenirlas. En efecto, más allá de una cierta concentración en el suelo, para la cual la acción del microelemento es óptima, se pasa rápidamente a una concentración tóxica para la planta (Bergmann, 1992).

De lo dicho anteriormente se deduce que no basta añadir al suelo, en cualquier forma, el elemento cuyo escasez ha provocado la carencia. Las sales solubles se inmovilizan a menudo en el suelo, debido a que se produce precipitación, oxidación o formación de complejos insolubles, según sea el caso. Para asegurar del mejor modo posible la nutrición de los cultivos en microelementos, se puede actuar con los productos llamados “quelatos”, que son unos compuestos orgánicos en los que el metal está “protegido”, es decir en estado no ionizable o susceptible de precipitarse. También puede actuarse con productos solubles en tratamientos por vía foliar.

#### *1.3.3.5.1. Formas de los microelementos en el suelo*

Los microelementos se encuentran en el suelo (Mortvedt et al., 1983; Loué, 1988) bajo las siguientes formas:

-*Solubilizados en agua*: En la solución del suelo.

-*Intercambiables*: Iones enlazados por cargas eléctricas con las partículas del suelo.

*-Adsorbidos, quelados formando complejos:* La mayor parte de los microelementos son capaces de formar complejos con agentes complejantes o la materia orgánica del suelo.

*-Minerales secundarios:* De las arcillas y de óxidos metálicos insolubles.

*-Minerales primarios:* Componentes de la roca madre.

Los tres primeros grupos de formas constituyen la fracción de los microelementos asimilables para las plantas.

Estas tres formas se encuentran en equilibrio, de tal forma que un cambio en la concentración de una de ellas conlleva una variación en las concentraciones de las otras dos.

Los microelementos precipitados, como el hierro o el manganeso en forma de óxidos, pueden representar cantidades notables, pero son insolubles y por tanto no asimilables para las plantas.

Los microelementos fijados en la estructura cristalina de los minerales, o que son constituyentes propios de esta estructura, tampoco son asimilables para las plantas

#### *1.3.3.5.2. Principales factores que afectan a la asimilación de los microelementos*

Los factores que más influyen en la asimilación de los microelementos son:

*-pH del suelo*

Un aumento del pH reduce la solubilidad del Cu, Fe, Zn y, muy especialmente, del Mn.

Por otro lado, dicho incremento aumenta la solubilidad y absorción del Mo.

Los microelementos Mn, Cu y Zn son afectados en grado diverso, siendo mayor para el Mn, mediana para el Zn, y menor para el Cu.

Para el caso de los microelementos aniónicos, el aumento del pH disminuye la disponibilidad de B, siendo Mo el único microelemento cuyo asimilación aumenta cuando el pH se incrementa.

### *-Materia orgánica*

La materia orgánica del suelo está dotada de propiedades complejantes para los cationes. Forma combinaciones con los iones metálicos, como los quelatos, que son complejos órganometálicos estables, donde el metal esta insertado en una molécula complejante o quelante, que adopta una forma curvada en anillo o pinza alrededor del ion metálico.

Los compuestos orgánicos del suelo con poder quelante son numerosos: sustancias provenientes de organismos vivos (ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas, polisacáridos), así como polímeros complejos (ácidos húmicos y fúlvicos).

Los complejos solubles corresponden sobre todo a combinaciones con moléculas de orígenes diferentes, como los ácidos orgánicos y ácidos fúlvicos.

Los complejos insolubles intercambiables corresponden sobre todo a los ácidos húmicos.

El gran interés de los fenómenos de quelatación proviene de que los microelementos metálicos pueden ser mantenidos en solución, o sea en estado asimilable, en aquellos casos en que, debido a condiciones de pH alcalino de los suelos, formarían precipitados insolubles.

Las plantas absorben los microelementos bajo forma de iones que están en la solución del suelo o bien, adsorbidos por los coloides de dicho suelo, siendo en este caso susceptibles de pasar a la solución del suelo por intercambio iónico (cationes intercambiables) o como iones incorporados en los complejos orgánicos quelatos

### *-Textura del suelo*

Es una característica que está estrechamente ligada con los contenidos en microelementos asimilables del suelo. La relación  $\frac{\text{microelemento asimilable}}{\text{microelemento total}}$  disminuye a medida que aumenta el contenido de las fracciones gruesas (arena).

*- Actividad microbiana*

La actividad microbiana depende de numerosos factores del suelo (temperatura, humedad, pH, materia orgánica, etc.).

Los microorganismos actúan sobre la asimilación de los microelementos, concretamente controlan las reacciones de oxidación y reducción del hierro y manganeso en el suelo.

*- Condiciones climáticas*

El contenido en microelementos de los tejidos vegetales presenta importantes variaciones estacionales, debido al efecto de algunas variables ambientales (temperatura, humedad, etc.) en la asimilación de los microelementos. Estas últimas pueden ser causadas por los efectos climáticos sobre la actividad de los microorganismos, ya que la actividad microbiana está muy influenciada por la temperatura.

El manganeso es el elemento que presenta las variaciones estacionales más pronunciadas, debido a la variación de las condiciones de oxidación-reducción inducidas por la actividad microbiana.

*- Interacciones entre los elementos nutritivos*

Las interacciones entre los macroelementos y los microelementos, así como de los microelementos entre sí, pueden dar lugar a carencias inducidas o a absorciones excesivas de algunos de ellos.

De los tres macroelementos primarios N, P y K, el P es el que presenta las interacciones más importantes con los microelementos. Una fertilización fosfatada elevada puede provocar reducciones en la asimilación de Fe, Cu, y sobre todo Zn; y aumentar la asimilación de B y Mo.

*1.3.3.5.3. Movimiento de los microelementos hacia las raíces y absorción*

En el suelo, los movimientos de microelementos hacia las raíces se realizan fundamentalmente por:

- *Flujo masal o “mass-flow”*: Es la transferencia de un ion por el movimiento neto del agua, generado por la succión radicular de las plantas.
- *Difusión*: Es el movimiento de los iones desde un punto de alta concentración a otro punto de menor concentración.

Una vez los microelementos han llegado hasta la superficie de los pelos absorbentes de la raíz, si el microelemento está quelatado, la planta puede obtener el ion metálico de la molécula del quelato y lo absorbe.

La absorción puede realizarse por transporte activo, a través de la membrana de las células del pelo absorbente (muy importante para el Fe y menos para el Mn, Cu, Zn y Mo), o por transporte pasivo (para el B). El transporte activo es aquél que está regulado por el metabolismo de la planta, mientras que el pasivo se realiza libremente al absorber el agua.

#### *1.3.3.5.4. Correctores de carencias de microelementos en agricultura sostenible*

Además de algunas de las fuentes de macroelementos -primarios y secundarios- ya citadas a lo largo de la sección 1.3.3. (Nutrientes esenciales de los cultivos), que también proporcionan microelementos al sistema suelo-planta, el Reglamento (CE) 889/2008 describe y especifica los requisitos de composición y condiciones de utilización de los microelementos inorgánicos autorizados en la producción ecológica. Ejemplos de estos correctores de carencias de microelementos son: el borato cálcico, sulfato de cobre, sulfato de hierro, sulfato de manganeso, molibdato sódico y sulfato de zinc, entre otros.

#### *1.3.4. Extracción de nutrientes por los cultivos*

Cuando se cultivan especies vegetales de forma continua sin restitución de nutrientes, se puede producir una disminución a largo plazo del rendimiento de las cosechas. Esto se ha demostrado de manera muy significativa en experiencias llevadas a cabo con cereales, en las que el rendimiento sin aplicación de fertilizantes fue descendiendo progresivamente, siguiendo una tendencia exponencial, hasta un nivel de

equilibrio de 900 kg grano/ha, a la que le corresponde una exportación media anual de 20 kg de N, 4 kg de K, 3 kg de P y menos de 1 kg de Mg por hectárea. En los cereales, el elemento limitante es habitualmente el nitrógeno, ya que extraen menos cantidades de otros elementos; sin embargo, en los cultivos de leguminosas, el nitrógeno lo pueden obtener por fijación simbiótica, pero las considerables extracciones de fósforo, calcio, potasio y magnesio pueden llegar a agotar las reservas de estos elementos en el suelo, por lo que estos últimos nutrientes se convertirían en los factores limitantes de su producción (Loomis y Connor, 2002).

Es por tanto de gran importancia conocer la cantidad de nutrientes que salen del agrosistema en función de la especie vegetal que se está cultivando. Hay cultivos que extraen grandes cantidades de nutrientes del suelo y que, sin la aportación de fertilizantes desde una fuente externa, pueden provocar una disminución en las reservas de determinados elementos nutritivos del suelo y que descienda, además, la producción de los cultivos siguientes. Por el contrario, otros cultivos son capaces de aportar grandes cantidades de nitrógeno y materia orgánica al suelo, pudiendo restablecer el equilibrio alterado. De esta manera, Lampkin (1998) hace una distinción entre los cultivos que contribuyen a mantener el nivel de nutrientes y materia orgánica del suelo, y los que provocan una pérdida en el contenido de estos constituyentes del suelo.

Como ya se ha ido señalando a lo largo de esta introducción, en el presente trabajo se va a hacer especial hincapié en la importancia de la incorporación de los restos de cultivo para compensar las pérdidas de nutrientes que se producen en el sistema con la retirada de las cosechas.

A pesar de que no es fácil determinar con precisión la cantidad óptima de nutrientes que se debe suministrar a un cultivo, se pueden hacer estimaciones en función de las exigencias nutritivas de los cultivos y del nivel de producción que se espera obtener de ellos, de modo que el agricultor puede determinar la cantidad de

elementos fertilizantes que debe aportar al sistema para que no se produzcan deficiencias ni excesos.

La cantidad de nutrientes que absorbe una planta depende de la cantidad de biomasa producida (o acumulada) en los distintos órganos de dicha planta. Es por ello que se encuentran variaciones considerables en los resultados correspondientes a las extracciones totales de nutrientes realizadas por los cultivos, ya que hay una gran cantidad de factores que influyen sobre dichas extracciones, como pueden ser la composición y características del suelo y el agua de riego, la variedad cultivada, el ciclo de cultivo, el sistema de riego, el marco de plantación, las condiciones del cultivo, y el rendimiento obtenido, entre otros.

Esta variabilidad se puede ver reflejada en la Tabla 1 donde se recogen algunos datos de extracción de nutrientes dados por distintos autores, que se han encontrado en la bibliografía para una producción determinada de los diferentes cultivos incluidos en la dicha tabla.

Hay que tener en cuenta que la cantidad de nutrientes extraída del suelo por el cultivo no tiene por qué coincidir con la necesidad del mismo en productos fertilizantes, debido fundamentalmente a tres razones:

- una parte de los nutrientes extraídos pueden quedar en la parcela, bien como raíces o bien como restos de cultivo.
- una porción de los nutrientes puede proceder de otras fuentes, como la fracción asimilable del suelo, el agua de riego, las enmiendas orgánicas y la fijación biológica, principalmente.
- Además, hay que tener en cuenta los procesos de transformación que van a sufrir los fertilizantes en el suelo, lo que puede traducirse en pérdidas (volatilización, lixiviación, desnitrificación, etc.) o disminución en la asimilabilidad de los nutrientes (retrogradación, inmovilización, etc.), provocando así un aprovechamiento parcial de los fertilizantes aplicados al cultivo.

**Tabla 1.** Extracciones de macronutrientes obtenidas por diferentes autores

Cosecha	Rend. (t/ha m.f.)	Nutrientes exportados (kg/ha)				Fuentes
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	
<b>Apio</b>						
Total	80,5	196	146	560	19	Prats (1970) cv. Dorado Barbier
	20	130	50	200	-	Jacob y Von Uesküll (1973)
<b>Coliflor</b>						
Total	-	198	56	295	22	Anstett (1965)
Pellas	37,5	151	47	227	17	Coliflor de verano
Total	-	363-373	68-103	291-373	53-56	Casas (1994)
Pellas	44-47	108-125	27-36	107	-	Coliflor de otoño por goteo
<b>Maíz dulce</b>						
Mazorcas	26,5	111	56,5	81	-	Pomares et al.,(2003a)
<b>Hinojo</b>						
Bulbos	-	55	20	120	-	Fersini (1976)
<b>Sandía</b>						
Frutos	33,2	84	42	81	54	Quesada (1990)
	58-95	148-205	26-39	282-347	44-58	Barona (1994)
<b>Alcachofa</b>						
Total	23,9	229	104	478	31	Anstett (1965)
Capitulos	-	80	34	108	14	cv. Gros Vert de Laon
Total	22,5	271	87	575	62	Pomares et al. (1995)
Capitulos	-	75	29	115	16	cv. Blanca de Tudela
<b>Judía</b>						
Total	35,9	174	48	198	10	Anstett (1965)
Total	22,4	135-219	7,8-13,5	58-62	6	Knott (1962)
<b>Lechuga Little Gem</b>						
Invierno	11,8	16,7	7,7	31,4	-	Pomares et al.
	13,5	17,2	8	32,3	-	(2003b)
<b>Lechuga Romana</b>						
Otoño	67,9	136	44	246	33	Corbí (1993)
	75,1	113	46	193	18	
<b>Lechuga Iceberg</b>						
Primavera	-	80	27	195	20	Rincon et al. (1991)
	-	95	36	240	25	
<b>Patata</b>						
Total	83,4	233,07	24,3	339,2	33,8	Tarazona et al. (1997) 2 cv. Jaerla y Desireé
Total	95,6	274,1	32,7	479,6	63,1	
Tubérculos	27	224	50	291	30	Knott (1962)

### ***1.3.5. Balances de nutrientes en los agrosistemas***

En los sistemas de agricultura sostenible es muy importante aplicar estrategias eficaces para reducir la dependencia de los fertilizantes minerales, sin que disminuyan significativamente los rendimientos en la producción. Es, por lo tanto, necesario un análisis completo y exhaustivo de la explotación con el fin de optimizar la productividad interna de la misma y minimizar los aportes externos. La cuantificación de los cambios en la reserva de los nutrientes del suelo es crucial para prevenir e identificar problemas en el manejo de los sistemas agrícolas. Los balances de nutrientes, es decir la diferencia entre las entradas (ganancias o aportes) y las salidas (pérdidas o extracciones) de nutrientes del sistema, pueden utilizarse como indicadores de estos cambios (Bindraban et al., 2000), y son, por lo tanto, herramientas imprescindibles en el control de la fertilidad de los sistemas agrícolas sostenibles. Hay que tener en cuenta que un desequilibrio entre el aporte y la extracción de nutrientes por las plantas no sólo refleja un coste innecesario para el agricultor, sino también un potencial efecto perjudicial para el medio ambiente (Granstedt, 1992).

Según Van Bol et al., (1997), hay que distinguir varios tipos de balances de nutrientes a la hora de hacer una interpretación correcta de los resultados:

El balance en cultivos individuales, que se realiza a nivel de parcela y está limitado a un solo cultivo con una localización determinada. Este tipo de balance permite la medida de procesos como la desnitrificación o la mineralización de forma muy precisa.

El balance en la rotación de cultivos, que representa la media ponderada de los balances obtenidos en los diferentes cultivos de la rotación, teniendo en cuenta la superficie cultivada de cada cultivo.

El balance en la explotación, que se lleva a cabo en el conjunto de la finca. Es el único método de cálculo que tiene en cuenta la producción animal y vegetal, contabilizando el abono orgánico, la provisión de piensos y las variaciones en el tamaño del rebaño. En la producción vegetal sólo se tiene en cuenta lo que sale de la finca, por lo que la producción de forraje no estará incluida directamente en el balance. Este tipo de balance refleja la eficiencia del metabolismo animal en la producción de forraje.

Se han realizado numerosos trabajos con el fin de establecer indicadores que pongan de manifiesto la sostenibilidad de los agroecosistemas. Uno de los indicadores propuesto por Smaling (1993) es el balance de nutrientes. Un balance positivo muy elevado conducirá, entre otras situaciones, a contaminaciones en las aguas subterráneas y superficiales, mientras que un balance negativo podrá llevar a una disminución de las reservas de nutrientes, con la consiguiente pérdida de fertilidad del suelo, disminuyendo así la producción de los cultivos y provocando finalmente el abandono de tierras agrícolas que previamente eran viables.

En algunos estudios, como el de Weiss (1988), se ha argumentado que la gestión mediante la agricultura ecológica da como resultado un empobrecimiento del suelo en nutrientes. Este estudio se realizó en 101 fincas ecológicas al sur de Alemania, comparándolas con fincas convencionales de similares características, y los resultados se analizaron teniendo en cuenta el tiempo pasado desde la conversión a sistema ecológico. Cuanto mayor era el tiempo pasado desde la reconversión, había una clara reducción del fósforo y una disminución menos marcada del potasio asimilable en las fincas ecológicas. Las reconversiones realizadas antes de 1960 presentaron contenidos de 7,5 mg P/100 g de suelo en las fincas ecológicas y 19,4 mg P/100 g de suelo en las fincas convencionales. Además, las diferencias en los contenidos de potasio fueron menos acusadas: 23,8 mg K/100 g de suelo en fincas ecológicas frente a 24,4 mg K/100 g de suelo en las fincas convencionales.

Por otra parte, en un trabajo realizado por Kaffka y Koepf (1989) se demostró que, en una finca con cultivo biodinámico (una modalidad de agricultura ecológica) desde 1929 y dedicada a la producción de leche, los análisis de suelos mostraron sólo pequeñas diferencias en los contenidos de fósforo, potasio y magnesio asimilable entre 1972 y 1982, y que después de 50 años los niveles de potasio y fósforo eran todavía apropiados para obtener buenas producciones, a pesar de que las únicas aportaciones externas fueron el pienso para el ganado y la paja para su cama. En estos balances, hechos a nivel de finca en su totalidad, se incluyó como aporte de nutrientes lo que se importaba con las semillas, con los piensos, con los fertilizantes y con la compra de animales, y como

pérdida de elementos nutritivos los productos que salían de la finca en forma de leche, de huevos, de producción vegetal y de animales vendidos. Los resultados de los balances de nutrientes realizados durante un periodo de 30 años (1952-1981) dieron un valor negativo de escasa cuantía para el nitrógeno (-14,1 kg N/ha/año), lo que fue un indicador de la elevada contribución de la fijación biótica, ante los niveles estables de materia orgánica que se dieron en dicho sistema. También se observó un balance negativo para el fósforo (-2,2 kg P/ha/año), pero, sin embargo, el balance de potasio resultó positivo (+1,0 kg K/ha/año) debido principalmente a las compras de paja para el ganado. Los balances de nutrientes deben considerarse únicamente como una guía orientativa, que indica si una rotación está equilibrada en elementos nutritivos. Realmente, no pueden reemplazar a los análisis del suelo o del material vegetal, o al seguimiento del estado del cultivo, que en la práctica proporcionan la mejor información sobre la necesidad de medidas correctoras.

## **2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

---

---



El modelo de producción intensiva aplicado en los países más avanzados, que surgió a partir de mediados del siglo XX como consecuencia de los avances científicos y tecnológicos generados por la llamada “Revolución Verde” en distintas áreas como la mejora genética, la fertilización, el control fitosanitario, el riego, la mecanización, etc., contribuyó de forma notoria a incrementar la producción de alimentos para una población humana en creciente aumento (Thévenet, 1995; Smil, 1997). No obstante, debido a los crecientes problemas que este tipo de agricultura puede provocar: deterioro en la calidad de los productos cosechados, alto consumo de factores de producción, disminución de la biodiversidad, degradación de los recursos naturales, contaminación ambiental, deterioro del patrimonio cultural en las poblaciones rurales, etc., se ha generado un cierto rechazo social hacia este modelo de producción agrario y un manifiesto interés en desarrollar otros modelos alternativos modernos y competitivos, que aseguren unos productos de alta calidad, saludables, respetuosos con el medio ambiente, y que garanticen el patrimonio económico y cultural de las poblaciones rurales.

Por ello, es necesario desarrollar modelos que enfoquen la producción agraria hacia la obtención de alimentos de alta calidad, haciendo un uso adecuado del suelo y el agua, respetando el medio ambiente y buscando el máximo grado de autosuficiencia, con la intención de conseguir agrosistemas estables y perdurables en el tiempo. Frente al concepto del suelo como un soporte inerte para el crecimiento de las plantas, en estos sistemas de producción sostenible se debe hacer hincapié en la necesidad de conservar la calidad del suelo, ya que éste es un sistema complejo y dinámico que se autorregula, y tiene un papel fundamental dentro del mantenimiento y conservación general de los ecosistemas.

La producción integrada (controlada) puede enmarcarse dentro de la agricultura sostenible, cuyo desarrollo se ha realizado bajo los auspicios de la Organización Internacional de Lucha Biológica (El Titi et al., 1995). Se define como un sistema de producción de alimentos y otros productos de alta calidad mediante el uso eficiente de los recursos naturales y de los procesos biológicos reguladores para reemplazar los

insumos contaminantes y para asegurar una producción agraria sostenible. En este modelo de producción, las técnicas agrícolas deben ser cuidadosamente seleccionadas para lograr los objetivos de rentabilidad, de protección del medio ambiente y de exigencias sociales.

Por otra parte, la agricultura ecológica es un sistema de producción agraria que, en general, prescinde del uso de agroquímicos (fertilizantes, fitosanitarios, etc.) de origen sintético, utilizando técnicas agrícolas como la rotación de cultivos, el reciclado de los residuos, la fertilización orgánica, los métodos biológicos para el control fitosanitario, etc. La producción ecológica es un sistema multifuncional, que compatibiliza los objetivos productivos (en calidad y rendimiento) con otros relativos al medio ambiente abiótico, la biodiversidad, el paisaje, el uso de los recursos autóctonos, etc., sin olvidar la rentabilidad económica, punto clave de la sostenibilidad del agroecosistema. A pesar de que se han realizado algunos estudios sobre el desarrollo de sistemas de producción ecológica de hortícolas en la Comunidad Valenciana (Gómez et al., 2000; Pomares et al., 2000b; Gómez, 2001; Pomares et al., 2003b; Ribó, 2003), los datos experimentales disponibles son claramente insuficientes para el establecimiento de sistemas ecológicos en las diferentes áreas edafo-climáticas de la Comunidad Valenciana.

Por otra parte, es un hecho claramente demostrado que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado considerablemente en los últimos tiempos, desde 280 ppm en la época preindustrial hasta 375 ppm en el año 2002 (Janzen, 2004), y que la tasa de incremento progresivo durante los últimos años presenta un valor de 1,5 ppm/año, reflejando los efectos del intenso consumo de combustibles fósiles en los últimos 50-60 años. Así mismo, existen numerosas evidencias científicas de que esa tendencia de aumento progresivo en el nivel de CO<sub>2</sub> atmosférico se va a mantener en los próximos años, circunstancia que unida a la de otros gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso, ozono, CFC) puede tener graves repercusiones en el calentamiento global y el previsible cambio climático (Causarano et al., 2006).

Las actividades agrarias (agrícolas y forestales), a pesar de que tienen una repercusión relativamente baja en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, presentan un cierto potencial para actuar como sumideros de carbono, lo que puede redundar en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (Sanz, 2002; Janzen, 2004; Causarano et al., 2006; Rice, 2006). Las prácticas agrícolas que pueden afectar a las emisiones de CO<sub>2</sub> son de varios tipos: a) las que incrementan la captación de carbono en el suelo o en la biomasa vegetal, como la incorporación de los restos de los cultivos, el aporte de enmiendas orgánicas exógenas, el uso de abonos verdes, las rotaciones de cultivos, etc.; b) las que disminuyen el consumo de combustibles fósiles, como el laboreo de conservación; y, c) las que aumentan la productividad de los cultivos mediante el uso racional y eficiente de los factores de producción (agua de riego, fertilizantes minerales, enmiendas orgánicas, productos fitosanitario, etc).

La incorporación al suelo de los restos de los cultivos, además de paliar el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, puede contribuir a mejorar el nivel de materia orgánica del suelo, que es el parámetro determinante de la fertilidad o calidad del mismo, entendida ésta como la capacidad de dicho suelo para mantener en el ecosistema, de forma sostenible, las funciones de producción biológica, calidad ambiental y sanidad vegetal (Doran et al., 1994).

En el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

1. Evaluar los efectos del sistema de producción (producción ecológica versus producción integrada) sobre:
  - la producción y calidad de varias rotaciones de hortalizas
  - la composición nutricional (materia seca y macronutrientes) de los productos cosechados en diferentes cultivos
  - las modificaciones en las propiedades químicas, físico-químicas y biológicas del suelo
2. Evaluar los efectos del sistema de manejo de los restos de cultivo sobre:
  - la producción y calidad de varias rotaciones de hortalizas
  - la composición nutricional de las cosechas de distintos cultivos

- las modificaciones en las propiedades químicas, físico-químicas y biológicas del suelo.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

---

---



### 3.1. Comparación de la producción ecológica versus la producción integrada

#### 3.1.1. Localización de los experimentos

Los dos sistemas que se han comparado (producción ecológica y producción integrada) se ubicaron en dos parcelas contiguas del Centro Experimental de la Fundación Ruralcaja, en Paiporta (Valencia). Las superficies de los respectivos sistemas eran de 0,42 y 0,47 hectáreas, divididas cada una en cuatro subparcelas, u hojas de rotación, presentando una distribución según se indica en la Figura 8. Las parcelas I, II, III, IV corresponden al sistema de producción integrada y las parcelas A, B, C, D al sistema de producción ecológica.

La parcela puede ser observada desde SIGPAC con las coordenadas siguientes Figura 8a:

Coodenada superior derecha  $\left[ \begin{array}{l} X : 722445 \\ Y : 4366566 \end{array} \right]$  y

Coordenada inferior izquierda  $\left[ \begin{array}{l} X : 722324 \\ Y : 4366493 \end{array} \right]$

En los extremos longitudinales de las dos parcelas correspondientes a ambos sistemas de producción se implantó un seto o nicho ecológico de la fauna auxiliar, para el control fitosanitario, formado por plantas de las especies *Myoporum pictum*, *Coronilla glauca*, *Dorycnium pentaphyllum* y *Medicago strasseri*. La distribución del seto en los laterales se muestra en el Figura 8b.

La zona experimental estaba situada en el área de la Huerta de Valencia, Comarca “Hort Nord” (Huerta Norte), en la que predominan los cultivos de cítricos y hortícolas, pero que en los últimos años registra una progresiva disminución de la superficie cultivable debido, entre otras causas, a los crecimientos urbanístico, industrial, etc.

El clima es de tipo mediterráneo, caracterizado por temperaturas suaves en invierno y altas en verano, y la temperatura media anual es de 17,5 °C. Y en cuanto al régimen de precipitaciones, presenta un máximo en el periodo de septiembre –

octubre, con lluvias muy intensas, y un mínimo durante los meses de junio – agosto, siendo la precipitación media anual de 464 mm.

### **3.1.2. Características del suelo y del agua de riego**

El suelo de las parcelas experimentales, que se desarrolló a partir de los aluviones de la Vega baja del Río Turia en su confluencia con el barranco de Torrente, pertenece al grupo de los suelos pardo rojizos de vega (Xerochrepts). Se trata de un suelo de pH básico, de textura franco-arcillosa, con un contenido normal de materia orgánica humificada, y niveles relativamente altos de fósforo y potasio asimilables.

El riego de los cultivos se realizó mediante un sistema de riego localizado o de goteo, con agua de un pozo situado en las proximidades del centro experimental. Las características del agua de riego en los cuatro años del estudio (5° a 8°, desde 2002 hasta 2005, respectivamente) se muestran en la Tabla 2. En base a estas características químicas y físico-químicas, destaca su alto nivel de nitratos y, según las normas Riverside (Richards, 1969), presentaría una calificación C4S1, es decir agua con riesgo muy alto de salinidad, aunque el riesgo de sodicidad es bajo. Pero de acuerdo a la clasificación FAO (Ayers y Westcot, 1987), menos restrictiva que la anterior, resultaría un agua calificada como moderadamente salina, y sin riesgo de afectar a la capacidad de infiltración del suelo.

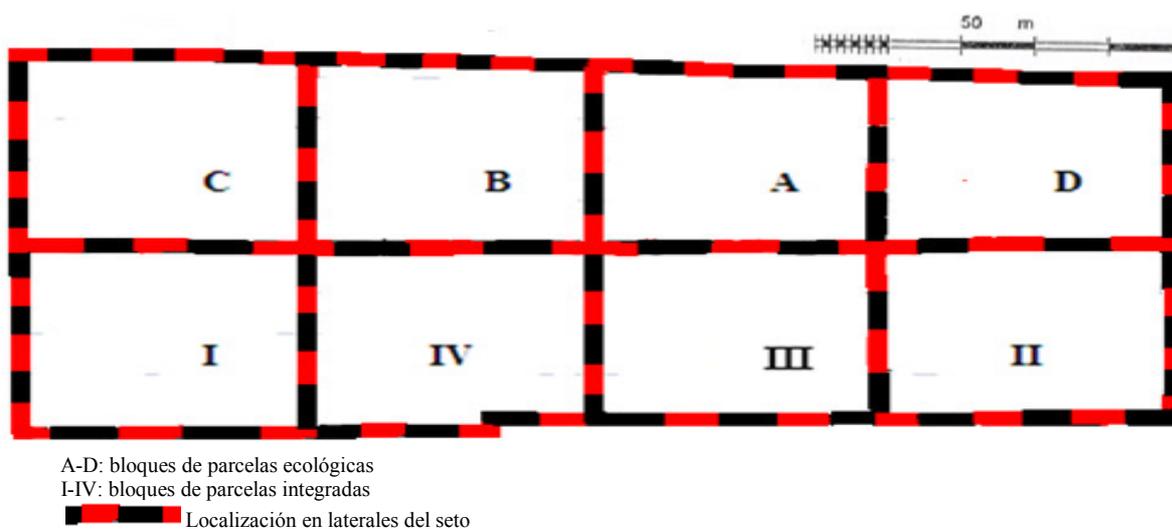
**Tabla 2.** Análisis del agua de pozo (riego) en los cuatro años del estudio

Parámetros	Unidad	5º Año (2002)	6º Año (2003)	7º Año (2004)	8º Año (2005)
		Valor			
pH		7,32	7,44	7,54	7,38
CE	mS/cm	2,53	2,53	2,31	2,53
Sales solubles	ppm	1619,2	1619,2	1478,4	1619,2
<b>Iones Principales</b>					
N-NH <sub>4</sub>	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0
N-NO <sub>3</sub>	“	101,0	82,3	99,0	91,6
NO <sub>3</sub>	“	447,0	364,3	438,8	405,6
P	“	0,3	0,1	0,0	0,2
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	“	0,9	0,3	0,0	0,4
K	“	5,8	6,7	7,2	6,3
Ca	“	298,0	290,0	297,0	294,0
Mg	“	74,0	75,0	76,6	74,5
SO <sub>4</sub>	“	492,0	487,0	475,0	489,5
Na	“	118,0	110,0	115,0	118,0
Cl	“	198,0	203,0	218,0	203,0
CO <sub>3</sub>	“	0,0	0,0	0,0	0,0
HCO <sub>3</sub>	“	203,0	210,0	212,0	206,5
<b>Oligoelementos</b>					
Fe	ppm	0,309	0,086	0,014	0,155
Mn	”	0,010	0,006	0,0	0,008
Zn	“	0,061	0,003	0,058	0,032
Cu	“	0,069	0,029	0,033	0,049
B	“	0,120	0,033	0,003	0,081
Mo	“	0,110	0,060	0,041	0,080
Al	“	0,499	0,230	0,360	0,365

CE: conductividad eléctrica



**Figura 8b.** Croquis de los sistemas ecológico e integrado



### 3.1.3. Cultivos e las rotaciones, calendarios de siembras o trasplantes, y recolección

El plan de trabajo y las tareas de esta Tesis Doctoral se enmarcan en un proyecto europeo de mayor alcance y más larga duración (desde 1998), y se han centrado específicamente en una rotación de hortalizas desde el quinto hasta el octavo año de cultivo, entre los años 2002 y 2005, respectivamente.

La metodología experimental utilizada ha sido la de los prototipos de sistemas agrarios desarrollada por Vereijken (1994) en Holanda para cultivos extensivos, adaptada para hortalizas según la metodología citada por Wijnand et al. (2002).

Los cultivos de la rotación fueron los siguientes: patata (*Solanum tuberosum* L.), var. Escort; hinojo (*Foeniculum dulce* D.C.), var. Brando; maíz (*Zea mays* L.), var. Challenger; alcachofa (*Cynara scolymus* L.), var. Lorca (primera y segunda rotación), Blanca de Tudela/Aguadulce (tercera campaña) y Harmony (cuarto año); apio (*Apium graveolens* L.), var. Istar; y, sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad), siendo la variedad utilizada en la quinta campaña Graciosa F1, en la sexta y octavo rotación Boston (75%)/Dulce Maravilla (25%), y Boston (75%)/Bética (25%) en el séptimo año. También coliflor (*Brassica oleracea* L.), var. Pavilion, Tripton, Sirente y Casper; judía (*Phaseolus vulgaris* L.), var. Modus; y, lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. 41-66 RZ.

Los calendarios de las siembras o trasplantes y de recolección en el transcurso de las tres rotaciones se encuentran en las Tablas 3, 4, 5 y 6.

**Tabla 3.** Calendario de siembras o trasplantes y recolecciones en los distintos cultivos de las rotaciones

5° Año (2002)		
Datos de cultivo	Ecológico	Integrado
<b>Sandía</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Graciosa F1/Polinizador	idem
Fecha de plantación	17/05/02	idem
Marco de plantación	3 x 1 m	idem
Cultivo precedente	Lechuga	idem
Periodo de recolección	31/07/02	idem
<b>Coliflor</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Pavilion	idem
Fecha de plantación	6/09/02	idem
Marco de plantación	1 x 0,65 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Sandía	idem
Periodo de recolección	4 al 18/12/02	idem
<b>Patata</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Escort	idem
Fecha de siembra	1/02/02	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m	idem
Cultivo precedente	Coliflor	idem
Periodo de recolección	24/05/02	idem
<b>Hinojo</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Brando	idem
Fecha de plantación	24/09/02	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Patata	idem
Periodo de recolección	15/01/03	idem
<b>Maíz dulce</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Challenguer	idem
Fecha de siembra	07/03/02	idem
Marco de plantación	1,1 x 0,15 m	idem
Cultivo precedente	Hinojo	idem
Periodo de recolección	25/6 al 4/7/02	idem
<b>Alcachofa</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Lorca	idem
Fecha de plantación	31/07/02	idem
Marco de plantación	1,8 x 0,8 m	idem
Cultivo precedente	Maíz dulce	idem
Periodo de recolección	13/12/02 al 13/05/03	idem
<b>Judía</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Modus	idem
Fecha de siembra	16/07/02	idem
Marco de plantación	0,8 x 0,6 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Alcachofa	idem
Periodo de recolección	10/9 al 20/9/02	idem
<b>Lechuga</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	41-66 RZ	idem
Fecha de plantación	10/10/02	idem
Marco de plantación	0,8 x 0,45 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Judía	idem
Periodo de recolección	27/12/02 al 8/01/03	idem

**Tabla 4.** Calendario de siembras o trasplantes y recolecciones en los distintos cultivos de las rotaciones

6° Año (2003)		
Datos de cultivo	Ecológico	Integrado
<b>Patata</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Escort	idem
Fecha de siembra	09/01/03	idem
Marco de plantación	0,66 x 0,3 m	idem
Cultivo precedente	Coliflor	idem
Periodo de recolección	20/05/03	idem
<b>Hinojo</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Brando	idem
Fecha de plantación	03/10/03	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Patata	idem
Periodo de recolección	06/02/04	idem
<b>Maíz dulce</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Challenguer	idem
Fecha de siembra	07/03/03	idem
Marco de plantación	1,2 x 0,15 m	idem
Cultivo precedente	Hinojo	idem
Periodo de recolección	19 al 24/06/03	idem
<b>Alcachofa</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Lorca	idem
Fecha de plantación	18/7/03	idem
Marco de plantación	1,7 x 0,8 m	idem
Cultivo precedente	Maíz Dulce	idem
Periodo de recolección	12/11/03 al 7/06/04	idem
<b>Apio</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Istar	idem
Fecha de plantación	21/08/03	idem
Marco de plantación	0,6 x 0,15 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Alcachofa	idem
Periodo de recolección	13/01/04/ al 18/2/02/04	idem
<b>Sandía</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Boston (75%) / Dulce Maravilla (25%)	idem
Fecha de plantación	22/5/03	idem
Marco de plantación	3 x 1 m	idem
Cultivo precedente	Lechuga	idem
Periodo de recolección	22/07/03 al 01/08/03	idem
<b>Coliflor</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Tipton	idem
Fecha de plantación	29/08/03	idem
Marco de plantación	0,55 x 0,9 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Sandía	idem
Periodo de recolección	4/12 al 29/12/03	idem

**Tabla 5.** Calendario de siembras o trasplantes y recolecciones en los distintos cultivos de las rotaciones

7° Año (2004)		
Datos de cultivo	Ecológico	Integrado
<b>Maíz dulce</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Challenger	idem
Fecha de siembra	8/03/04	idem
Marco de plantación	1,2 x 0,15 m	idem
Cultivo precedente	Hinojo	idem
Periodo de recolección	29/06 al 13/07/04	idem
<b>Alcachofa</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Blanca de Tudela/Aguadulce	idem
Fecha de plantación	5/08/04	idem
Marco de plantación	1,5 x 0,6 m	idem
Cultivo precedente	Maíz dulce	idem
Periodo de recolección	15/11/04 al 26/05/05	idem
<b>Apio</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Istar	idem
Fecha de plantación	20/08/04	idem
Marco de plantación	0,9 x 0,2 m	idem
Cultivo precedente	Alcachofa	idem
Periodo de recolección	15/12/04 al 14/02/05	idem
<b>Sandía</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Boston (75%)/ Bética (25%)	idem
Fecha de plantación	28/04/04	idem
Marco de plantación	3 x 1 m	idem
Cultivo precedente	Apio	idem
Periodo de recolección	21/07 al 4/08/04	idem
<b>Coliflor</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Sirente	idem
Fecha de plantación	14/09/04	idem
Marco de plantación	1 x 1 (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Sandía	idem
Periodo de recolección	23/12/04 al 11/01/05	idem
<b>Patata</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Escort	idem
Fecha de siembra	8/01/04	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m	idem
Cultivo precedente	Coliflor	idem
Periodo de recolección	24/05/04	idem
<b>Hinojo</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Brando	idem
Fecha de plantación	20/10/04	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Patata	idem
Periodo de recolección	No recolectado (por helado)	idem

**Tabla 6.** Calendario de siembras o trasplantes y recolecciones en los distintos cultivos de las rotaciones

8° Año (2005)		
Datos de cultivo	Ecológico	Integrado
<b>Apio</b>		
Parcela	A	I
Variedad	Istar	idem
Fecha de plantación	24/08/05	idem
Marco de plantación	0,9 x 0,2 (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Alcachofa	idem
Periodo de recolección	12/01/06	idem
<b>Sandía</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Boston (75%)/Dukce Maravilla (25%)	idem
Fecha de plantación	27/04/05	idem
Marco de plantación	3 x 1m	idem
Cultivo precedente	Apio	idem
Periodo de recolección	12/07/05 al 4/08/05	idem
<b>Coliflor</b>		
Parcela	B	II
Variedad	Casper	idem
Fecha de plantación	2/09/05	idem
Marco de plantación	0,9 x 0,9 m	idem
Cultivo precedente	Sandía	idem
Periodo de recolección	25/11/05 al 27/12/05	idem
<b>Patata</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Escort	idem
Fecha de siembra	18/01/05	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Coliflor	idem
Periodo de recolección	31/05/05	idem
<b>Hinojo</b>		
Parcela	C	III
Variedad	Brando	idem
Fecha de plantación	20/10/05	idem
Marco de plantación	0,65 x 0,3 m (tresbolillo)	idem
Cultivo precedente	Patata	idem
Periodo de recolección	09/03/06	idem
<b>Alcachofa</b>		
Parcela	D	IV
Variedad	Harmony	idem
Fecha de plantación	1/08/05	idem
Marco de plantación	1,68 x 0,8 m	idem
Cultivo precedente	Hinojo	idem
Periodo de recolección	14/12/05 al 26/04/06	idem

### 3.1.4. Características del abono orgánico (estiércol)

En cada rotación, los cultivos ecológicos se abonaron con unos 20.000 kg/ha por cada 2 años de estiércol (vacuno + ovino en la proporción del 50%, respectivamente), cuya composición química se muestra en la Tabla 7. La aportación de elementos fertilizantes (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O y MgO) derivada del estiércol se ha obtenido mediante las fórmulas siguientes:

$$1^{\circ}) \text{ kg (N)/ha} = \text{abono aportado} \cdot \text{kg/ha} \frac{(\% \text{ materia seca})}{100} \cdot \frac{(\% \text{ N})}{100}$$

$$2^{\circ}) \text{ kg (K}_2\text{O)/ha} = \text{abono aportado} \cdot \text{kg/ha} \frac{(\% \text{ materia seca})}{100} \cdot \frac{(\% \text{ K}_2\text{O})}{100}$$

$$3^{\circ}) \text{ kg (P}_2\text{O}_5\text{)/ha} = \text{abono aportado} \cdot \text{kg/ha} \frac{(\% \text{ materia seca})}{100} \cdot \frac{(\% \text{ P}_2\text{O}_5)}{100}$$

$$4^{\circ}) \text{ kg (MgO)/ha} = \text{abono aportado} \cdot \text{kg/ha} \frac{(\% \text{ materia seca})}{100} \cdot \frac{(\% \text{ MgO})}{100}$$

**Tabla 7.** Contenido de nutrientes en el estiércol

Rotación	Estiércol	(% s.m.h)	(% s.m.s)			
		Materia seca	Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)	Magnesio (MgO)
Quinta	(Vacuno + Oveja)	60,83	1,63	1,87	2,62	1,41
Sexta	(Vacuno + Oveja)	72,35	1,83	1,91	2,60	1,36
Séptima						
Octava	(Vacuno + Oveja)	54,35	2,35	2,38	2,49	1,13

### 3.1.5. Características de la fertirrigación

En las parcelas de los dos sistemas de producción (ecológica e integrada) estudiados, además de las precipitaciones registradas durante los desarrollos vegetativos de las especies, se realizó el riego mediante un sistema localizado (goteo); con goteros separados 30 cm en la tubería portagoteros, de caudal 2 l/h.

Las dosis de agua de riego necesarias para los diferentes cultivos se calcularon teniendo en cuenta la capacidad de evapotranspiración de estos, siguiendo la metodología indicada por Pomares et al. (2007c). De acuerdo con este procedimiento, las necesidades totales o brutas de agua de riego se determinaron en función de: 1) la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c = E_{To} * K_c$ , siendo  $E_{To}$  la evapotranspiración del cultivo de referencia estimada según el método Penman – Monteith y  $K_c$  el coeficiente de cultivo), 2) la eficiencia de percolación, 3) la eficiencia de uniformidad, y 4) la eficiencia de lixiviación de las sales. A partir de estas necesidades totales de agua se calcularon: la dosis práctica de riego, el intervalo entre riegos, el tiempo de riego y el caudal real de riego.

Las dosis de riego aplicadas en cada uno de los cultivos se muestran en la Tabla 8.

El cálculo de las necesidades de fertilización de los diferentes cultivos en el sistema de producción integrada se realizó siguiendo la metodología indicada por Pomares et al. (2007e). De acuerdo con estos autores, los programas de fertirrigación (dosis y tipo de fertilizantes, y fraccionamiento) se calcularon teniendo en cuenta: 1) las necesidades nutricionales de los cultivos, 2) el ritmo de absorción de los nutrientes por las plantas, 3) la duración del ciclo de cultivo, 4) el aporte de nutrientes procedentes de los fertilizantes minerales, y 5) las fuentes potenciales de nutrientes distintas de los fertilizantes minerales (agua de riego, estiércol, restos del cultivo precedente). Las dosis de fertilización fosforada y potásica aplicadas en los respectivos cultivos sometidos a la producción integrada se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 8.** Dosis de agua de riego aportada a cada cultivo en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

5 <sup>o</sup> año (2002)			
Cultivos	Precipitación(mm)	Dosis de riego (m <sup>3</sup> /ha)	
		Ecológico	Integrado
Sandía	110,7	979	1007
Coliflor	78,2	2737	2668
Patata	263,0	1972	1829
Hinojo	83,2	2335	2437
Maíz	351,7	1109	1562
Alcachofa	482,0	2742	4085
Judía	161,5	1011	2546
Lechuga	52,2	3559	3376
<b>Total rotación</b>		<b>16444</b>	<b>19510</b>
<b>Media sist./año</b>		<b>4111</b>	<b>4878</b>
6 <sup>o</sup> año (2003)			
Cultivos	Precipitación(mm)	Dosis de riego (m <sup>3</sup> /ha)	
		Ecológico	Integrado
Patata	246,0	1667	1692
Hinojo	156,0	2303	2309
Maíz	185,0	929	1100
Alcachofa	554,0	3014	2804
Apio	234,0	3683	3698
Sandía	5,0	1824	1816
Coliflor	227,0	2426	2227
<b>Total rotación</b>		<b>15846</b>	<b>15646</b>
<b>Media sist./año</b>		<b>3962</b>	<b>3912</b>
7 <sup>o</sup> año (2004)			
Cultivos	Precipitación (mm)	Dosis de riego (m <sup>3</sup> /ha)	
		Ecológico	Integrado
Maíz	z	1787	2010
Alcachofa	-	6069	6021
Apio	-	6172	6333
Sandía	-	1763	1780
Coliflor	-	2857	2878
Patata	-	1839	1940
Hinojo	-	2114	2068
<b>Total rotación</b>		<b>22601</b>	<b>23030</b>
<b>Media sist./año</b>		<b>5650</b>	<b>5758</b>
8 <sup>o</sup> año (2005)			
Cultivos	Precipitación (mm)	Dosis de riego (m <sup>3</sup> /ha)	
		Ecológico	Integrado
Apio	238,9	4079	4163
Sandía	66,9	2643	2723
Coliflor	163,9	2962	2987
Patata	115,9	2355	2340
Hinojo	268,4	2024	2117
Alcachofa	335,9	4078	4522
<b>Total rotación</b>		<b>18141</b>	<b>18852</b>
<b>Media sist./año</b>		<b>4535</b>	<b>4713</b>

<sup>z</sup> Sin precipitación

**Tabla 9.** Fertilización mineral aplicada en el sistema integrado

Cultivos	Fósforo (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)				Potasio (kg K <sub>2</sub> O/ha)			
	Año							
	5°	6°	7°	8°	5°	6°	7°	8°
Patata	100	80	100	100	250	250	250	250
Hinojo	50	50	50	50	150	150	150	150
Alcachofa	50	60	50	60	150	150	100	150
Sandía	100	80	100	80	180	150	200	150
Coliflor	80	50	80	50	150	150	160	150
Apio	-	150	150	150	-	300	300	300
Maíz dulce	80	80	80	-	100	100	100	-
Lechuga	60	-	-	-	200	-	-	-
Judía	50	-	-	-	50	-	-	-
<b>Total</b>	<b>570</b>	<b>550</b>	<b>610</b>	<b>490</b>	<b>1230</b>	<b>1250</b>	<b>1260</b>	<b>1150</b>
<b>Media sistema</b>	<b>143</b>	<b>138</b>	<b>153</b>	<b>123</b>	<b>308</b>	<b>313</b>	<b>315</b>	<b>288</b>

### 3.1.6. Protección fitosanitaria

El control fitosanitario en los dos sistemas de producción durante las campañas de cultivo se realizó siguiendo las estrategias correspondientes a los respectivos métodos de producción (Pomares et al., 2007b). Así, en la producción ecológica, la estrategia de control fitosanitario estuvo basada en medidas preventivas y aplicación de los productos ecológicamente aceptables de origen natural autorizados por el Reglamento de Producción Ecológica, Reglamento (CE) N° 889/2008. Y en la producción integrada, además de las medidas preventivas y la aplicación de insecticidas biológicos, similares a los aplicados en la producción ecológica, se aplicaron productos fitosanitarios de bajo impacto ambiental autorizados. La relación de los tratamientos fitosanitarios aplicados en los dos sistemas de producción se muestra en los Anejos 1, 2, 3 y 4.

### 3.2. Comparación entre las modalidades de manejo de los restos de cultivo

Para el estudio comparativo de las tres modalidades de gestión de los restos de cultivo, se realizó una modificación del diseño experimental inicial (Figura 8), implantándose un diseño de parcelas divididas. Para lo cual, cada uno de los ocho bloques iniciales se dividieron en tres sectores (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub>) (Figura 9) que corresponden a los tratamientos siguientes: R<sub>1</sub>) predescomposición de los restos

vegetales en la superficie del suelo e incorporación de los mismos mediante las labores preparatorias del cultivo siguiente;  $R_2$ ) recogida de los restos de cosecha y posterior retirada de la parcela; y,  $R_3$ ) aprovechamiento de los restos de cultivo y subsiguiente incorporación inmediatamente después de la recolección. Y a su vez, cada uno de los tres sectores de manejo de los restos de cultivo se subdividió en tres áreas, constituyendo cada una de éstas la parcela elemental del referido experimento (E-1 a E-9 e I-1 a I-9 en el sistema ecológico e integrado, respectivamente) (Figura 9).

**Figura 9.** Disposición de las tres modalidades de gestión de los restos de cultivo

ECOLÓGICO		
$R_1$	$R_2$	$R_3$
E-3	E-6	E-9
E-2	E-5	E-8
E-1	E-4	E-7

INTEGRADO		
I-3	I-6	I-9
I-2	I-5	I-8
I-1	I-4	I-7

$R_1$ : Se dejan los restos de cultivo para incorporar más tarde;  $R_2$ : Los restos de cultivo no se incorporan;  
 $R_3$ : Los restos de cultivo se incorporan directamente  
 E, I: Parcela elementales

### 3.3. Determinaciones en el material vegetal

#### 3.3.1. *Peso medio de los productos cosechados*

Tras la recolección de los diferentes cultivos, se controló el rendimiento comercial y el destrío (por tamaño y fisiopatías, principalmente). Posteriormente se tomaron muestras de los productos cosechados en cada una de las parcelas elementales, a base de un número suficiente de piezas (entre 3 y 20) según el cultivo, determinándose

el peso medio de las mismas. Finalmente, estas muestras se utilizaron también para las determinaciones de humedad y contenido de nutrientes.

### **3.3.2. Preparación de las muestras de material vegetal**

Todas las muestras de material vegetal recogidas se lavaron cuidadosamente con un detergente sin fosfatos y se enjuagaron con agua desionizada, se pesaron en fresco y a continuación se dejaron secar en una estufa de aire forzado regulable a 65-70 °C. Una vez totalmente secas las muestras, se pesaron de nuevo para determinar su porcentaje de humedad. La trituración se llevó a cabo con un molino (de hélice, bolas o ultracentrífugo) con tamiz de 0,5 mm.

### **3.3.3. Determinación de la materia seca**

Después de conocer el contenido de humedad de la muestra puesta en estufa a temperatura de 65-70 °C, por diferencia entre el peso inicial y el peso constante final, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{Materia seca } a = 1 - \left( \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco } a}{\text{Peso húmedo}} * 100 \right)$$

Los valores de materia seca (MS) fueron expresados en %.

### **3.3.4. Características químicas del material vegetal**

Para la extracción de los macronutrientes, excepto el nitrógeno, se utilizó una digestión con la mezcla ácida HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>. Para lo cual se pesaron 0,5 g de muestra en un tubo de digestión, añadiéndose a continuación 10 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado. Tras reposar toda la noche, la mezcla se calentó cuidadosamente en un digestor hasta que cesó la producción de humos rojizos de NO<sub>2</sub>. Posteriormente, se dejó enfriar, tras lo que se añadieron 2 mL de HClO<sub>4</sub> 70% y se volvió a calentar hasta el final de la digestión, señalada por la pérdida del color de la disolución junto al cese de espumeo. Seguidamente, se dejó enfriar y se aforó a 25 mL con agua desionizada.

### 3.3.4.1. Determinación del nitrógeno orgánico

El nitrógeno orgánico se determinó según el método de Bremner (1965) mediante un equipo Tecator.

La valoración se efectuó frente a un ácido de normalidad y factor conocido, normalmente sulfúrico 0,5 N. Fue necesario introducir blancos en cada serie.

Para el cálculo, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\% (N) = \frac{[14,01 * (Lm - Lb) * N * f]}{[g * 10]}$$

siendo:

$Lm$  = mL de ácido gastado en la valoración de la muestra

$Lb$  = mL de ácido gastado en el blanco

$N$  = Normalidad del ácido empleado

$f$  = Fator del ácido utilizado

$g$  = Peso de la muestra en gramos

### 3.3.4.2. Determinación de macronutrientes (fósforo, calcio, potasio y magnesio) y sodio

El fósforo total se determinó siguiendo el método Azul de Molibdeno (A.O.A.C., 1980). La utilización de hidroquinona junto a sulfito sódico en la solución ácida desarrolla, en presencia de fósforo, unos complejos que dan un color azul y que se pueden medir con un espectro-colorímetro a una longitud de onda de 625 nm.

La linealidad es perfecta hasta 7,5 ppm (alícuota de 0,5 mL de 150 ppm) y aceptable hasta 10 ppm (alícuota de 0,5 mL de 200 ppm).

Para el cálculo se utilizó la fórmula:

$$\% (P) = \frac{[(a - b) * V]}{[g * 10.000]}$$

donde :

$a$  = mg/L de P leídos en la muestra

$b$  = mg/L de P leídos en el blanco

$V$  = volumen final en mL de la digestión ácida o las cenizas

$g$  = gramos de tejido vegetal.

El análisis de los elementos calcio, potasio, magnesio y sodio se realizó siguiendo la metodología del MAPA (1994).

Se tomó una alícuota del extracto de la digestión ácida nítrico-perclórica y se determinó con el espectrofotómetro de llama de aire-acetileno tras calibración con una serie de estándares. Las concentraciones de Ca y de Mg fueron leídas por absorción a 422,7 y 285,2 nm, respectivamente; y la concentración de K y de Na por emisión a 766,5 y 589,0 nm, respectivamente.

La fórmula utilizada para los cálculos es la siguiente:

$$\text{Ca, Mg, K ó Na (\%)} = \frac{[(a - b) * V * d]}{[g * 10 .000]}$$

siendo:

$a$  = mg/L de Ca, Mg, K ó Na leídos en la muestra

$b$  = mg/L de Ca, Mg, K ó Na leídos en el blanco

$V$  = volumen final en mL de la digestión ácida o de cenizas

$d$  = dilución de la muestra (10/0,5)

$g$  = gramos de tejido vegetal.

### **3.4. Determinaciones en las muestras de suelo**

#### ***3.4.1. Toma y preparación de las muestras de suelo***

La toma de muestras de suelo se realizó en el año 2005 tras finalizar el 8º año de cultivo de la rotación de hortalizas. Para ello, se empleó una barrena cilíndrica introducida manualmente en 20 puntos aleatorios en cada una de las parcelas elementales (E e I) correspondientes a las tres modalidades de la gestión de los restos de cultivo ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ). Se obtuvieron muestras de suelo a cuatro profundidades (0-15,

15-30, 30-60 y 60-90 cm). Las 20 submuestras de cada parcela elemental y a cada profundidad se mezclaron de forma homogénea, obteniéndose una muestra compuesta de las mismas. Así pues, en total se obtuvieron 96 muestras de suelo (4 bloques \* 2 sistemas de cultivo \* 3 modalidades de manejo de los restos de cultivo \* 4 profundidades de suelo).

Una vez las muestras de suelo llegaron al laboratorio, se prepararon dos submuestras: una húmeda destinada a la determinación de la humedad y el nitrógeno inorgánico ( $\text{NO}_3^-$ ), que se tamizó a través de una malla de 5 mm y se conservó en una cámara frigorífica a 4°C para posteriores análisis, y la otra, que se dejó secar al aire y a continuación se trituró en un molino de cilindros de 2 mm de luz. Las muestras secas se utilizaron para determinar el resto de parámetros analíticos del suelo.

Hay que señalar que para las determinaciones de la biomasa microbiana y las dos actividades enzimáticas estudiadas se utilizaron únicamente las muestras de la capa arable 0-15 cm.

La determinación de la textura del suelo se realizó mediante el método del densímetro Bouyoucos siguiendo los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura (MAPA, 1994)

### ***3.4.2. Características físico-químicas del suelo***

#### ***3.4.2.1. Determinación del pH***

Para la determinación del pH en agua, se pesó 10 g de suelo al cual se añadió 50 mL de agua desionizada. Se agitó con una varilla de vidrio durante 1 minuto. Posteriormente, se dejó reposar 30 minutos, transcurrido este tiempo, y antes de introducir el electrodo, se volvió a agitar durante un 1 minuto de forma moderada y se procedió a la lectura, utilizando un pH-metro marca HANNA, modelo pH 210.

### 3.4.2.2. Conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación

El método consiste en pesar en un recipiente adecuado 400g de suelo que, tras alcanzar la saturación mediante la adición de agua desionizada, se deja reposar durante 24 horas y, posteriormente, se extrae el filtrado con una bomba de vacío. A continuación se procede a la lectura de la conductividad introduciendo en el extracto el electrodo del conductímetro eléctrica marca CYBERS, modelo Can 500.

Así mismo, si el resultado se obtiene a una temperatura distinta de 25 °C, hay que tener en cuenta el factor de corrección de temperatura correspondiente.

### 3.4.3. Características químicas del suelo

#### 3.4.3.1. Determinación del carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total Kjeldahl y la relación C/N

La determinación del carbono orgánico oxidable se realizó mediante el método de Walkley y Black (1934). Se pesó 1 g de suelo seco y tamizado (< 2 mm) en un matraz, erlenmeyer de 250 mL y se añadieron 10 mL de  $K_2CrO_7$  1N, agitando suavemente. Se añadieron 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado, agitándose a continuación. Al pasar 30 minutos de reacción se añadieron 100 mL de agua desionizada y se dejó enfriar. Una vez frío, se añadieron 10 mL de  $H_3PO_4$  concentrado y cinco gotas de indicador de ortofenantrolina, preparado con 1,48 g de o-fenantrolina monohidratada y 0,7 g de sulfato ferroso heptahidratado en 100 mL de agua destilada. Se valoró posteriormente el contenido de la matriz con sulfato ferroso-amónico  $(NH_4)_2(Fe(SO_4)_2)$  0,5N.

Se realizaron también blancos con los reactivos, y el porcentaje de carbono orgánico oxidable se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = \frac{[(V - V') * N * f * 0,39]}{P}$$

donde:

V y V' son los mL de  $(\text{NH}_4)_2(\text{Fe}(\text{SO}_4)_2)$  0,5N gastados en la valoración de la muestra y el blanco, respectivamente, N: es la normalidad, f: el factor de la disolución  $(\text{NH}_4)_2(\text{Fe}(\text{SO}_4)_2)$  0,5N, y P: es el peso de la muestra en g.

Posteriormente, la materia orgánica oxidable se calculó a partir de la formula:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = 1,724 * \% \text{ carbono orgánico oxidable}$$

donde:

1,724 es el coeficiente de van Bemmelen de conversión del carbono orgánico en materia orgánica.

El nitrógeno total se determinó siguiendo el método Kjeldahl (Bremner, 1965) utilizando la pastilla de catalizador (compuesto de selenio y potasio) y 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Se introdujeron los tubos en el digestor a una temperatura de 420 °C hasta que el contenido de los tubos se volvió prácticamente transparente. Se dejó luego enfriar los tubos y se añadieron unos 50 mL de agua destilada.

Por otro lado, se pusieron 25 mL de ácido bórico al 4%, con indicadores verde de bromocresol y rojo de metilo, en los erlenmeyers donde se recogió el destilado que se analizó en un destilador TecaTor (Kjeltec System 1002) mediante adición a cada tubo de digestión de 10 mL de NaOH al 40%.

A continuación se valoró la disolución con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 N.

El porcentaje de nitrógeno se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Nitrógeno total (\% N)} = \frac{14,01 * (L_m - L_b) * N * f}{g * 10}$$

donde:

14,01 = masa atómica del N  
 $L_m$  = mL de ácido gastado en la valoración de la muestra

$L_b$  = mL de ácido gastado en el blanco

N = Normalidad del ácido empleado

f = Factor del ácido empleado

g = Peso de la muestra en gramos

Finalmente, la relación C/N se obtuvo como el cociente entre el contenido de carbono orgánico oxidable y el nitrógeno total.

#### 3.4.3.2. Determinación del nitrógeno nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Para la determinación del nitrógeno nítrico del suelo se utilizó la técnica de espectrofotometría ultravioleta (Espectrofotómetro Perkin-Elmer 550-UV-VIS), método de la segunda derivada del espectro de absorción desarrollado por Sempere et al. (1993). Para ello, se realizó un barrido de las longitudes de onda entre 195 y 280 nm, y se tomó la absorbancia máxima centrada alrededor de los 215 nm; posteriormente se preparó un mismo barrido de seis patrones a distintas concentraciones, comprendidas entre 0 y 25 mg/L. En función de la magnitud de la lectura, el contenido de nitratos del extracto se determinó según las fórmulas:

$$\text{Si } L < 0,054: \text{ NO}_3^- = (L * 0,5 - 0,37) * 0,226 * 3$$

$$\text{Si } L \geq 0,054: \text{ NO}_3^- = \frac{1785 * L}{279 * (17885 - L)}$$

En ambos casos, L indica la lectura de absorbancia máxima, y la concentración de nitratos en el extracto se obtiene en mg/L. Estos resultados se expresaron en mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg de suelo mediante la conversión correspondiente.

#### 3.4.3.3. Determinación del fósforo asimilable

Se determinó según el método de Olsen (Watanabe y Olsen, 1965). Para su extracción se utilizó una disolución de NaHCO<sub>3</sub> (relación suelo: extractante, 1:20) en presencia de carbón activo (MAPA, 1994).

En el extracto neutralizado se determinó el fósforo por colorimetría. Los resultados se expresaron en mgL<sup>-1</sup> de P en muestra de suelo seco, a partir de la fórmula:

$$P \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{Absorbancia} \quad a * 250 )}{P'}$$

siendo:

$P'$  = peso de suelo

#### 3.4.3.4. Determinación del potasio y magnesio asimilables

El potasio y magnesio asimilables fueron extraídos con acetato amónico 1N (relación suelo: extractante, 1:10) a pH 7 siguiendo el método del MAPA (1994). Las determinaciones se realizaron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer 3030), por emisión para el potasio y por absorción para el magnesio. Los valores de los contenidos se expresaron en mg/kg.

#### 3.4.3.5. Determinación de los cationes $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ y $\text{Na}^+$ (calcio, magnesio, potasio y sodio) en el extracto de saturación

Del extracto de saturación conservado tras la determinación de la conductividad eléctrica, se tomaron 5 mL y se añadieron 4 mL de agua destilada y 1 mL de cloruro de estroncio al 3 % para la determinación del calcio y el magnesio. En cuanto al sodio y el potasio, se efectuó la lectura directamente del extracto sin necesidad de diluirlo.

A continuación se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer 3030) para el calcio y magnesio, mientras que se utilizó la espectroscopia de emisión para el potasio y sodio. Los valores fueron expresados  $\text{meqL}^{-1}$ .

#### 3.4.3.6. Determinación de los carbonatos y bicarbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ y $\text{HCO}_3^-$ ) en el extracto de saturación

Según el método oficial (MAPA, 1994), se tomaron 10 mL del extracto de saturación y se agregaron tres gotas de fenolftaleína. Se añadieron cuatro gotas de solución acuosa de anaranjado de metilo y se valoró con ácido sulfúrico 0,01 N hasta el cambio de color del indicador.

Las fórmulas para el cálculo son:

$$\text{meq L}^{-1} \text{ de CO}_3^{2-} \text{ (en 100g de suelo)} = (1000 * 2 * V_{(\text{ác})} \text{CO}_3^{2-} * N * f)$$

$$\text{meq L}^{-1} \text{ de CO}_3\text{H}^- \text{ (en 100g de suelo)} = (1000 * (V_{(\text{ác})} (\text{HCO}_3^-) - (2 * V_{(\text{ác})} (\text{CO}_3^{2-}) * N * f)$$

donde:

$V_{(\text{ác})} (\text{HCO}_3^-)$  = Volumen del bicarbonato

$V_{(\text{ác})} (\text{CO}_3^{2-})$  = Volumen del carbonato

f = Factor del ácido sulfúrico

N = Normalidad

#### 3.4.3.7. Determinación de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el extracto de saturación

Los cloruros se midieron directamente en el extracto obtenido mediante Clorímetro Corning modelo 926.

Los sulfatos se midieron directamente en el extracto obtenido mediante precipitación de  $\text{CaSO}_4$  y valoración con  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ .

#### 3.4.3.8. Determinación de los micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) extraíbles con DTPA

En un erlenmeyer de 125 mL, se colocaron 20 g de suelo secado al aire. Posteriormente se añadieron 40 mL de la disolución extractante (ácido dietilentriaminopentacético).

Las extracciones de los iones metálicos del suelo se realizaron siguiendo el método de Lindsay y Norvel (1969). La determinación de la concentración de los metales Fe, Cu, Mn y Zn en los extractos se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica con las longitudes de ondas 248,3, 324,8, 279,5 y 213,9 nm, respectivamente.

### 3.5. Análisis químico del agua de riego

Las características del agua de riego se determinaron utilizando la misma metodología descrita en MAPA (1994) con pequeñas modificaciones.

-pH: medición directa (pH-metro Radiometer Copenhagen PHM82).

- Conductividad eléctrica: medición directa (conductímetro Radiometer Copenhagen CDM-3).
- N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: método descrito por Sempere et al. (1993), por espectrofotometría ultravioleta (Espectrofotómetro Perkin-Elmer 550-UV-VIS).
- Macronutrientes totales: directamente por espectrofotometría.
- Bicarbonatos: directamente valorados con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Sulfatos: directamente en el extracto obteniendo tras la precipitación de CaSO<sub>4</sub> y valoración con Na<sub>2</sub>EDTA.
- Cloruros: directamente valorado en clorímetro Corning 926.

### 3.6. Características biológicas del suelo

#### 3.6.1. Biomasa microbiana

La biomasa microbiana del suelo se determinó mediante el método de fumigación-extracción (Vance et al., 1987). El método se basa en la fumigación con cloroformo de una muestra de suelo y su comparación con otra porción de muestra no fumigada. Para la extracción se utilizó K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. El carbono orgánico de los extractos se determinó por digestión a reflujo durante 30 minutos de una alícuota con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4N, HgO y una mezcla 2:1 de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado. Tras enfriarse, la mezcla se diluyó con agua.

El exceso de dicromato se determinó por valoración con (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) 0,04N en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,04 M usando como indicador el complejo sulfato de 1,10-fenantrolina ferrosa 0,025 M. La cantidad de dicromato consumido por las muestras se calculó mediante la fórmula:

$$V (\text{dicromato}) = V (\text{blanco}) - V (\text{muestra})$$

siendo:

*V blanco* el volumen de dicromato consumido al valorar una alícuota de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M, procesada del mismo modo que una muestra.

El carbono extraíble se calculó mediante la relación:

$$C \text{ (extraíble)} = V \text{ (dicromato)} * 1200 \mu\text{g de C}$$

y el carbono correspondiente a la biomasa microbiana mediante la relación:

$$C\text{-Biomasa} = 2,64 * E_c$$

donde:

$E_c$  es la diferencia entre el carbono extraído de la muestra fumigada con cloroformo y el extraído de la muestra no fumigada, ambos expresados como  $\mu\text{g C/g}$  de suelo seco.

### ***3.6.2. Actividad fosfatasa alcalina***

Se siguió el método de Tabatabai y Bremner (1969), modificado por Eivazi y Tabatabai (1977), el cual se basa en la adición de un sustrato, el p-nitrofenil fosfato disódico, y en la medida del p-nitrofenol (PNF) producido por la actividad enzimática. Se realizó la incubación de una muestra de suelo con una disolución de p-nitrofenil fosfato (PNP) 25 mM y tampón MUB (pH 11), durante una hora a 37 °C. Inmediatamente después de la incubación se añadieron las disoluciones  $\text{CaCl}_2$  0,5 M e NaOH 0,5 M, tras lo cual se filtraron las muestras.

Se realizaron controles de cada una de las muestras para conocer la cantidad de producto que no es derivado de la actividad fosfatasa. Para ello, se procedió del mismo modo que en las muestras, pero la solución PNP se añadió después de la adición de  $\text{CaCl}_2$  0,5 M y de NaOH 0,5 M, es decir, inmediatamente antes de la filtración.

La absorbancia del filtrado se leyó a 400 nm frente a una recta patrón preparada con distintas concentraciones de p-nitrofenol. La actividad fosfatasa se expresó en  $\mu\text{mol PNF/g suelo} * \text{h}$ .

### 3.6.3. Actividad deshidrogenasa

Se determinó según el método descrito por Casida et al. (1964), el cual consiste en la incubación de una muestra de suelo húmedo en presencia de cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio (TTC) durante 24 horas. Tras la incubación, el trifenilformazan (TPF) formado por la reducción del TTC se extrajo con metanol y se filtró.

La cantidad de trifenilformazan (TPF) formado por las muestras se determinó midiendo la absorbancia del filtrado en un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 25UV/VIS a la longitud de onda de 485 nm frente a una curva de calibración preparada con distintas concentraciones de trifenilformazan. Los resultados se expresaron en  $\mu\text{g TPF/g suelo} \cdot \text{h}$ .

### 3.7. Cálculo de las extracciones de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO por los cultivos

Para el cálculo del balance de nutrientes es necesario tener en cuenta la cantidad de nutrientes exportados por la materia vegetal que se saca de la parcela. Esta materia vegetal corresponde a la parte que se comercializa y a los restos de cultivo que no son incorporados en el suelo.

Mediante los análisis de este material vegetal, obtenemos los porcentajes sobre materia seca de N, P, K y Mg de las diferentes muestras.

Estos resultados los expresamos en gramos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO, respectivamente, por kilogramo de materia seca (m.s.). Para ello:

$$(1) \text{ g N / kg m.s.} = (\% \text{ N}) * 10;$$

$$(2) \text{ g P}_2\text{O}_5 / \text{kg m.s.} = (\% \text{ P}) * 10 * \frac{Pm_{(P_2O_5)}}{2 * xPm_{(P)}};$$

$$(3) \text{ g K}_2\text{O / kg m.s.} = (\% \text{ K}) * 10 * \frac{Pm_{(K_2O)}}{2 * xPm_{(K)}};$$

$$(4) \text{ g MgO / kg m.s.} = (\% \text{ Mg}) * 10 * \frac{Pm_{(MgO)}}{Pm_{(Mg)}};$$

(5) Por otro lado, se calculó el porcentaje de materia seca de las muestras:

$$\% \text{ m.s.} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso fresco}} * 100$$

lo que permitió expresar los resultados anteriores por tonelada de materia fresca (t m.f.)

$$(6) \text{ g N / kg m.f.} = \text{kg N / t m.f.} = (\text{g N / kg m.s.}) * \frac{(\% \text{ m.s.})}{100};$$

$$(7) \text{ g P}_2\text{O}_5 / \text{kg m.f.} = \text{kg P}_2\text{O}_5 / \text{t m.f.} = (\text{g P}_2\text{O}_5 / \text{kg m.s.}) * \frac{(\% \text{ m.s.})}{100};$$

$$(8) \text{ g K}_2\text{O} / \text{kg m.f.} = \text{kg K}_2\text{O} / \text{t m.f.} = (\text{g K}_2\text{O} / \text{kg m.s.}) * \frac{(\% \text{ m.s.})}{100};$$

$$(9) \text{ g MgO / kg m.f.} = \text{kg MgO / t m.f.} = (\text{g MgO / kg m.s.}) * \frac{(\% \text{ m.s.})}{100};$$

y teniendo en cuenta la producción (t/ha), tanto de la cosecha como de los restos de cultivo, calculamos los kilogramos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO por hectárea extraídos del suelo

$$(10) \text{ kg N extraídos / ha} = (\text{kg N / t m.f.}) * \text{producción (t / ha)};$$

$$(11) \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ extraídos / ha} = (\text{kg P}_2\text{O}_5 / \text{t m.f.}) * \text{producción (t / ha)};$$

$$(12) \text{ kg K}_2\text{O} \text{ extraídos / ha} = (\text{kg K}_2\text{O} / \text{t m.f.}) * \text{producción (t / ha)};$$

$$(13) \text{ kg MgO extraídos / ha} = (\text{kg MgO / t m.f.}) * \text{producción (t / ha)};$$

### 3.8. Cálculo de las aportaciones de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO mediante la aplicación del abono orgánico

El cálculo se realizó a partir de la concentración de N, P, K y Mg, y del contenido de materia seca obtenidos en el análisis químico del estiércol.

En primer lugar se expresan estos resultados en gramos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO, respectivamente, por kilogramo de materia seca, lo que equivale a kilogramos por tonelada, utilizando las siguientes fórmulas:

$$(14) \text{ g N / kg m.s.} = \text{kg N / t m.s.} = (\% \text{ N}) * 10.$$

$$(15) \text{ g P}_2\text{O}_5 / \text{kg m.s.} = \text{kg P}_2\text{O}_5 / \text{t m.s.} = (\% \text{ P}) * 10 * \frac{Pm_{(P_2O_5)}}{2 * Pm_{(P)}};$$

$$(16) \text{ g K}_2\text{O} / \text{kg m.s.} = \text{kg K}_2\text{O} / \text{t m.s.} = (\% \text{ K}) * 10 * \frac{Pm_{(K_2O)}}{2 * Pm_{(K)}};$$

$$(17) \text{ g MgO} / \text{kg m.s.} = \text{kg MgO} / \text{t m.s.} = (\% \text{ Mg}) * 10 * \frac{Pm_{(MgO)}}{Pm_{(Mg)}};$$

Teniendo en cuenta la cantidad de abono orgánico aportado por hectárea y el porcentaje de materia seca de éste, se puede calcular el aporte de nutrientes mediante las siguientes fórmulas

$$(18) \text{ kg N / ha} = (\text{kg N / t m.s.}) * \frac{\% \text{ m.s.}}{100} * \text{dosis abono (t / ha)};$$

$$(19) \text{ kg P}_2\text{O}_5 / \text{ha} = (\text{kg P}_2\text{O}_5 / \text{t m.s.}) * \frac{\% \text{ m.s.}}{100} * \text{dosis abono (t / ha)};$$

$$(20) \text{ kg K}_2\text{O} / \text{ha} = (\text{kg K}_2\text{O} / \text{t m.s.}) * \frac{\% \text{ m.s.}}{100} * \text{dosis abono (t / ha)};$$

$$(21) \text{ kg MgO} / \text{ha} = (\text{kg MgO} / \text{t m.s.}) * \frac{\% \text{ m.s.}}{100} * \text{dosis abono (t / ha)}$$

### 3.9. Cálculo de las aportaciones de N, K<sub>2</sub>O y MgO mediante el agua de riego

A partir de los análisis del agua de riego se conoció la concentración de N, K y Mg expresada en partes por millón o mg/L, y teniendo en cuenta las dosis de riego aplicadas a los distintos cultivos se obtienen las aportaciones de elementos fertilizantes mediante las siguientes fórmulas:

$$(22) \text{ kg N/ha} = \frac{p \cdot p \cdot m \cdot N}{ha \cdot 10^{-3}} * m^3$$

$$(23) \text{ kg K}_2\text{O/ha} = \text{p.p.m. K}_2\text{O} * \left[ \frac{Pm_{(K_2O)}}{2 * Pm_{(K)}} \right] * \left[ \frac{m^3}{ha * 10^{-3}} \right]$$

$$(24) \text{ kg MgO/ha} = \text{p.p.m. MgO} * \left[ \frac{Pm_{(MgO)}}{Pm_{(Mg)}} \right] * \left[ \frac{m^3}{ha * 10^{-3}} \right]$$

### 3.10. Determinación de los balances de nutrientes

Para la determinación de los balances de nutrientes es necesario conocer, por un lado, las aportaciones de nutrientes provenientes del abono orgánico (sólo sistema ecológico, sección 3.1.4.) o (sólo en el sistema integrado, Tabla 9) y del agua de riego, en este último caso, a partir de la concentración de nutrientes (mg/L) mediante el análisis y la dosis de agua de riego aplicada (m<sup>3</sup>/ha) a los diferentes cultivos (Tablas 2 y 8).

Y por otro lado, las extracciones efectuadas por los cultivos incluso los destríos dejados en las parcelas (sección 3.7). Las diferencias entre aportaciones y extracciones de nutrientes nos proporcionan los balances de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO, respectivamente.

### 3.11. Análisis estadístico

Para el estudio estadístico de los resultados se ha utilizado el programa Statgraphics Plus<sup>®</sup> 3.1 para Windows.

Los resultados experimentales obtenidos se han analizado mediante las técnicas del Análisis de la Varianza. Para determinar la significación de las diferencias entre las medias de los diferentes grupos o niveles establecidos, se ha aplicado el test de Newman-Keuls considerando los niveles de significación  $p \leq 0,10$ ,  $0,05$  y  $0,01$ , respectivamente.



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

---



## **4.1. Producción ecológica versus producción integrada**

### **4.1.1. Rendimiento comercial**

El rendimiento comercial (expresado en toneladas por hectárea) de los cultivos implantados durante el quinto, sexto, séptimo y octavo año del estudio con ambas modalidades de producción se muestra en las Figuras 10, 11, 12 y 13, respectivamente. Puede observarse que la respuesta de los cultivos al tipo de producción resultó bastante variable según la especie y la campaña del estudio. Aunque en algunos casos el rendimiento obtenido con la producción ecológica resultó superior al originado bajo la producción integrada, como sucedió en los cultivos de sandía, coliflor e hinojo en el 5° año, alcachofa y coliflor en el 6° año, y apio, sandía e hinojo en el 8° año, en la mayoría de los cultivos estudiados, el rendimiento obtenido con la producción integrada resultó superior al originado bajo la producción ecológica. Pero las diferencias entre ambas modalidades de producción resultaron estadísticamente significativas únicamente en unos pocos casos: maíz dulce, alcachofa y judía en el 5° año, hinojo, maíz dulce y apio en el 6° año, maíz dulce y patata en el 7° año, y patata, hinojo y alcachofa en el 8° año.

En cuanto a la comparación de los rendimientos relativos obtenidos en los diferentes cultivos bajo producción ecológica respecto al originado con la producción integrada (PI = 100) (Figuras 14, 15, 16 y 17), cabe indicar, por un lado, que los cultivos que resultaron más productivos bajo la producción ecológica fueron sandía y coliflor en el 5° año, con un incremento de rendimiento del 13 %, coliflor en el 6° año, con un aumento de rendimiento del 10 %, así como apio, sandía e hinojo en el 8° año, con un incremento de rendimiento del 14 % en los tres casos, y, por otro lado, que los cultivos que registraron los peores rendimientos con la producción ecológica fueron lechuga y judía en el 5° año, maíz dulce en el 6° año, y alcachofa en el 8° año, con disminuciones del rendimiento relativo superior al 25 % en todos estos casos. La valoración de la aptitud en la producción ecológica de los distintos cultivos hortícolas implantados desde el punto de vista de la producción comercial (Tabla 10), presentó

la siguiente secuencia: sandía > coliflor > hinojo > patata > apio > alcachofa > maíz dulce > judía verde > lechuga.

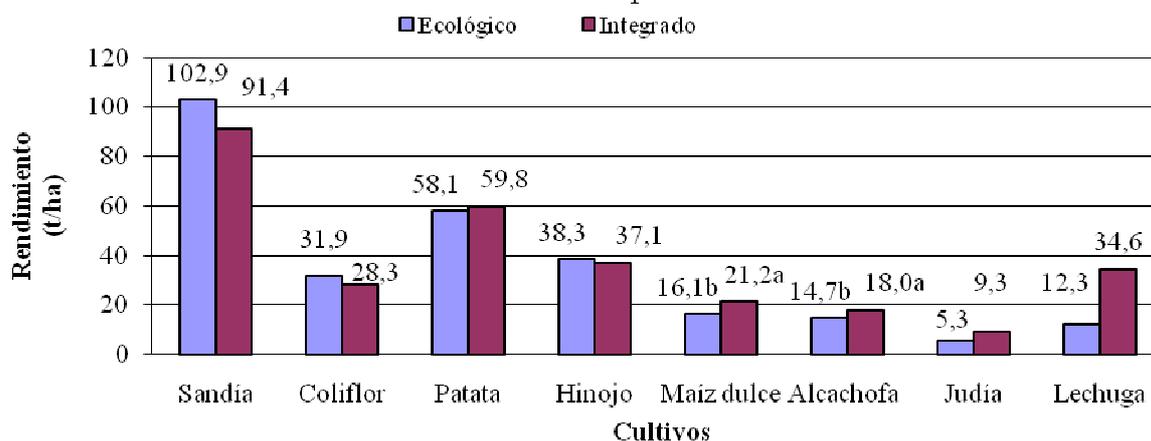
Al efectuar la comparación global de todos los cultivos implantados, en los cuatro años del estudio, en términos de rendimiento relativo con respecto a la producción integrada (Figuras, 14 a 17), la producción ecológica causó unas disminuciones del 15 %, 14 %, 10 % y 5 % en el 5º, 6º, 7º y 8º año, respectivamente, resultando una disminución media global de un 11 %..

Por otra parte, la bibliografía científica del tema muestra que el rendimiento comercial de los cultivos hortícolas en los sistemas ecológicos con respecto a los sistemas de cultivo convencional y producción integrada es muy variable, ya que los resultados experimentales dependen de muchos factores: especie de cultivo, variedad, características edafo-climáticas, tipo y dosis de fertilizantes, características del agua riego, sistema de riego, incidencia de plagas y enfermedades, etc. (Stanhill,1990; Stockdale et al., 2001).

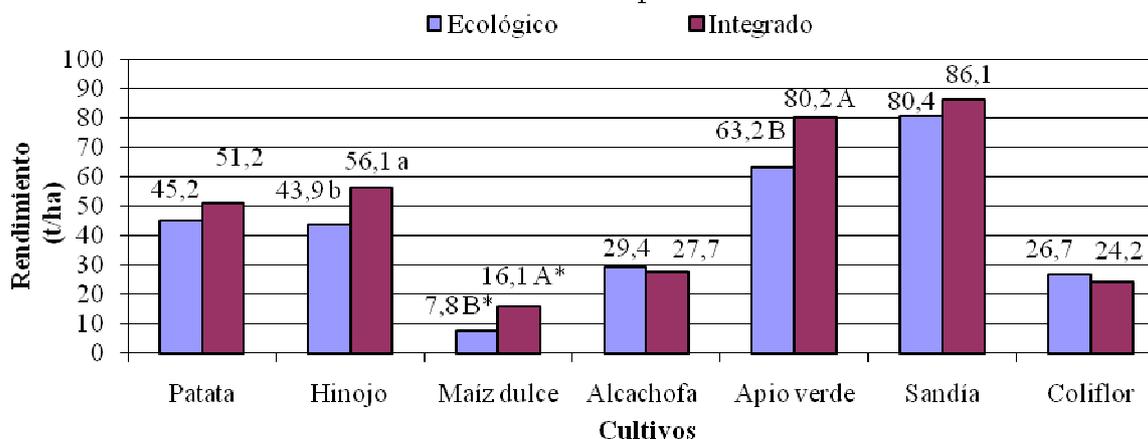
En relación a los cultivos hortícolas, los estudios realizados indican que en la producción ecológica, el rendimiento comercial puede variar desde un valor marcadamente inferior al de la producción convencional o integrada hasta valores similares o incluso superiores. Así, Schuphan (1974b), citado por Vogtman (1983), en un estudio de 12 años con rotaciones de hortalizas (espinaca, col, zanahoria y patata), obtuvo con la fertilización orgánica una disminución global en el rendimiento del 24% respecto a la fertilización mineral. Mäder et al. (2002), en otro experimento realizado en Suiza durante 21 años, con rotaciones a base de trigo, patata y pastos (gramíneas + trébol), constataron que el sistema ecológico originó una disminución en el rendimiento de patata entre el 34% y el 42% respecto a la producción convencional, disminución que los autores atribuían a una fertilización potásica insuficiente y a una alta incidencia de *Phytophthora infestans* en el cultivo. En Finlandia, Varis et al. (1996), en una experiencia de 3 años, encontraron una disminución de un 36% en el rendimiento del cultivo de patata en el sistema ecológico frente al sistema convencional. En Canadá, Warman y Havard (1997), en un experimento realizado

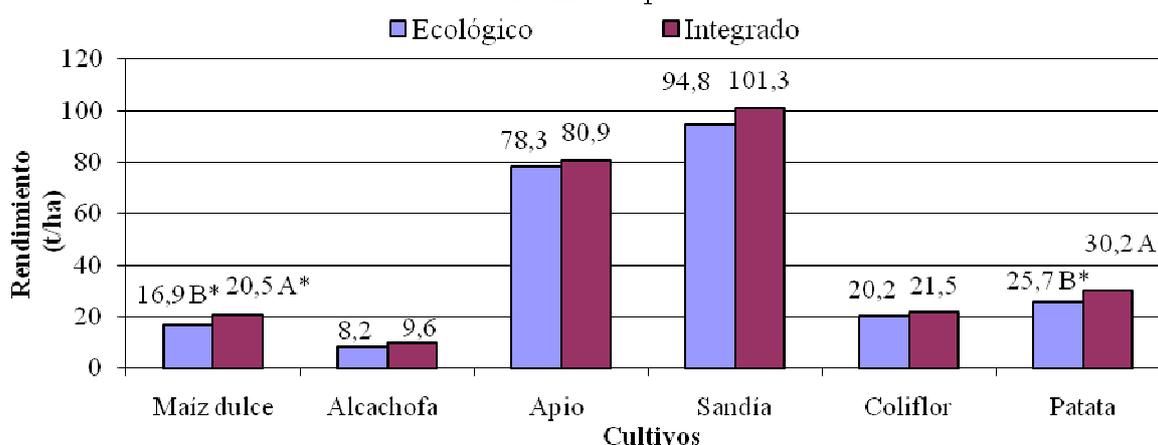
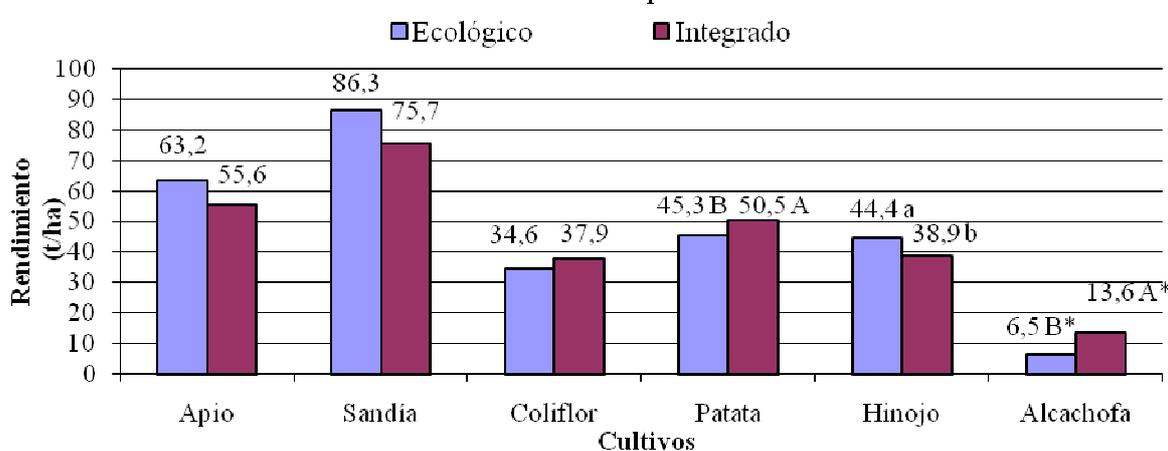
durante 3 años con dos hortícolas (zanahoria y repollo), constataron que el rendimiento en el sistema ecológico resultó similar al del sistema convencional. En Japón, Xu et al. (2003), utilizando dos variedades de crucíferas (*Brassica rapa* L. cv. Kairyra y *Brassica campestris* L. cv. Shinbansey), constataron que la fertilización orgánica originó un mayor rendimiento que la fertilización mineral. Y en el ámbito de la Comunidad Valenciana, en diferentes estudios realizados con distintas hortalizas (Gómez et al., 2001; Pomares et al., 2001; Pomares et al., 2007a; Pomares et al., 2007d), se ha constatado que el rendimiento global en el sistema ecológico ha sido ligeramente inferior (6-9%) al del sistema integrado; resultados que son similares a los obtenidos en este trabajo.

**Figura 10.** Rendimiento comercial de los cultivos en el 5º año (2002) en los dos sistemas de producción

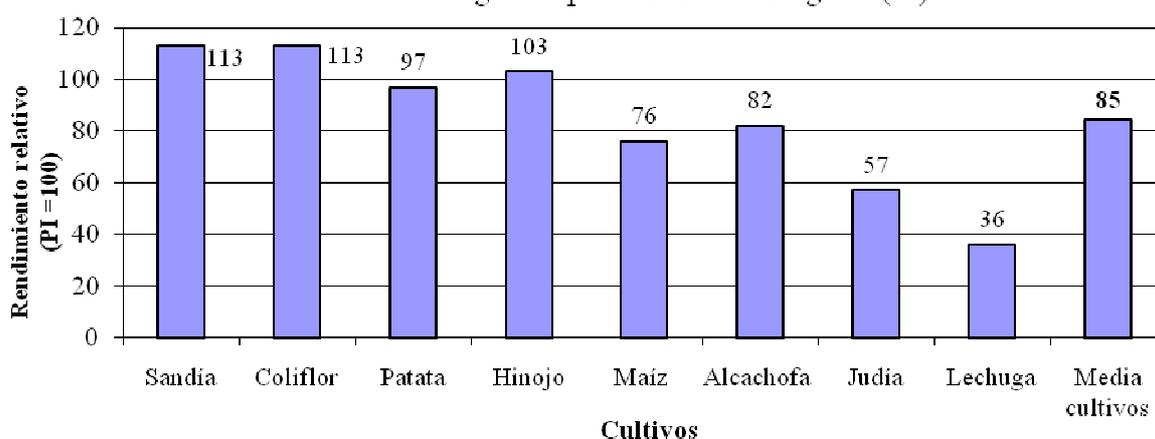


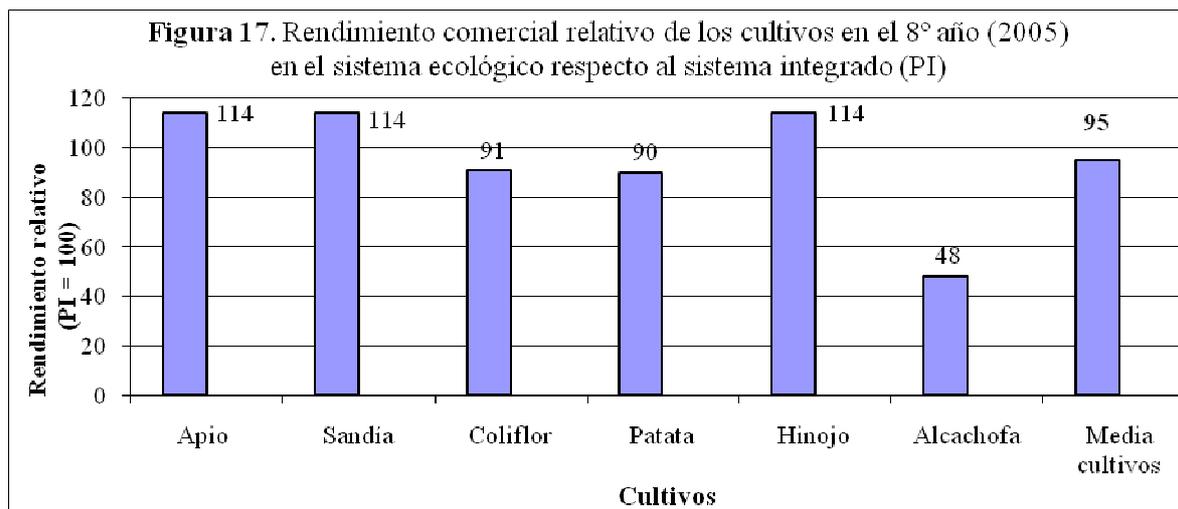
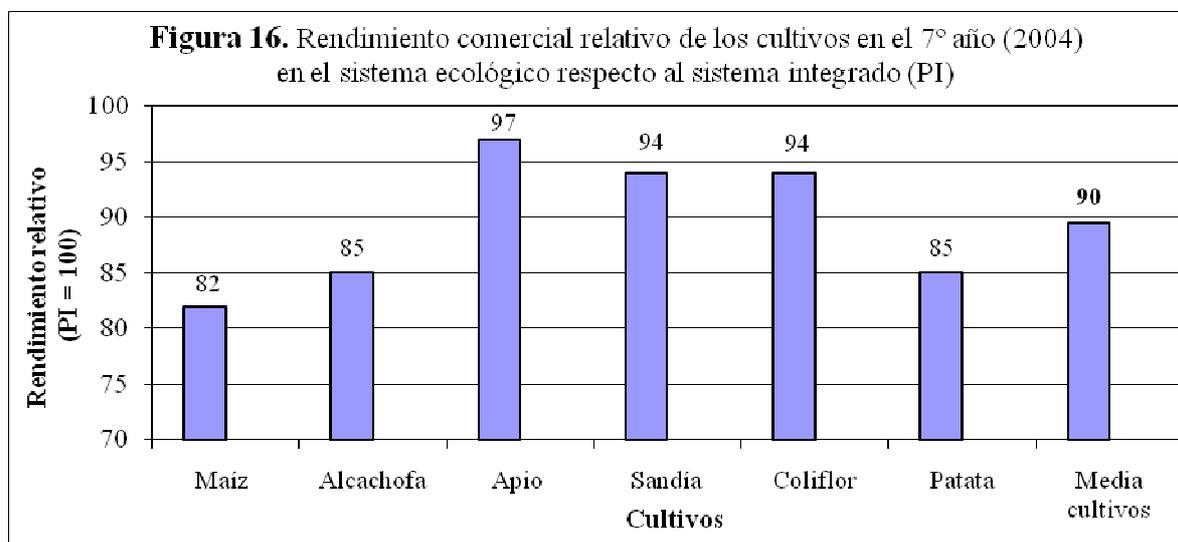
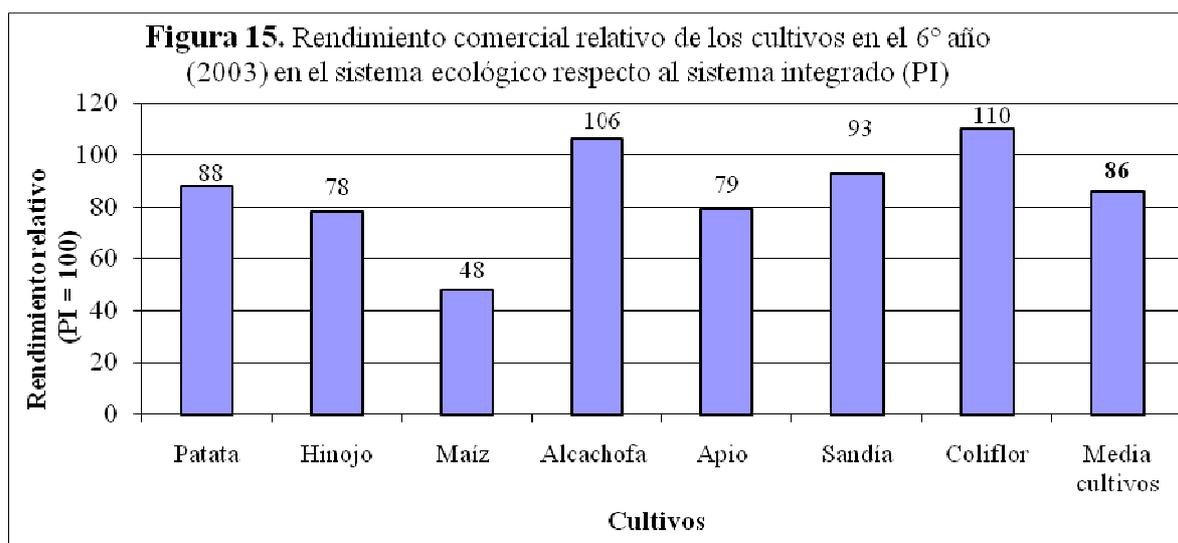
**Figura 11.** Rendimiento comercial de los cultivos en el 6º año (2003) en los dos sistemas de producción



**Figura 12.** Rendimiento comercial de los cultivos en el 7° año (2004) en los dos sistemas de producción**Figura 13.** Rendimiento comercial de los cultivos en el 8° año (2005) en los dos sistemas de producción

Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ ; letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$  y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$

**Figura 14.** Rendimiento comercial relativo de los cultivos en el 5° año (2002) en el sistema ecológico respecto al sistema integrado (PI)

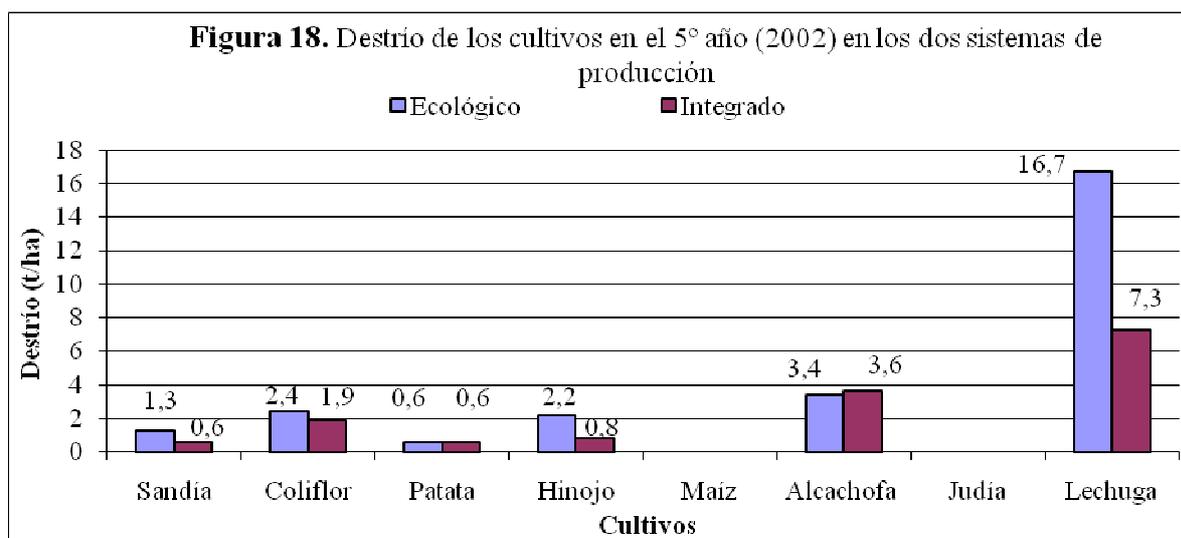


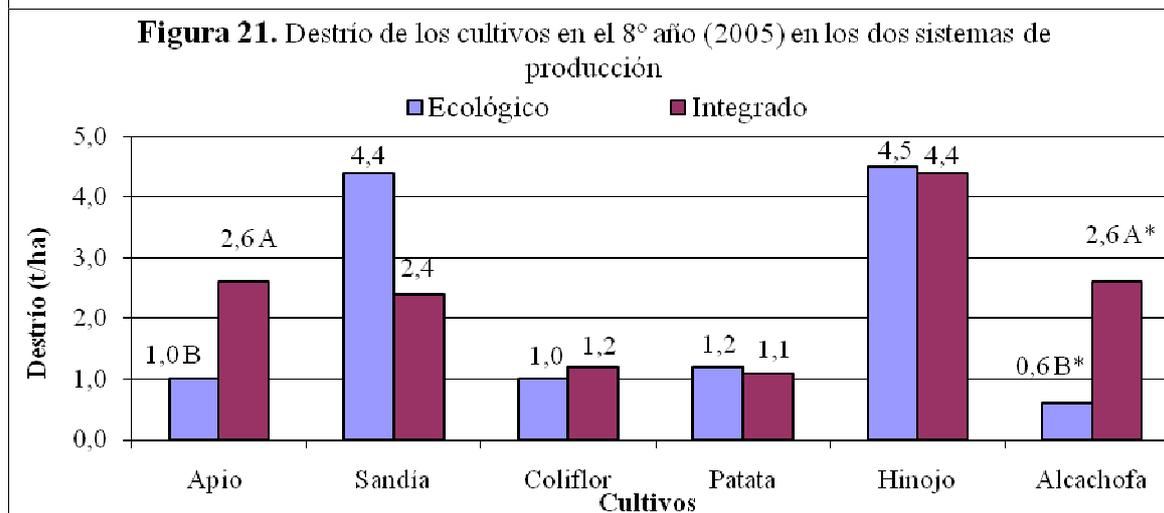
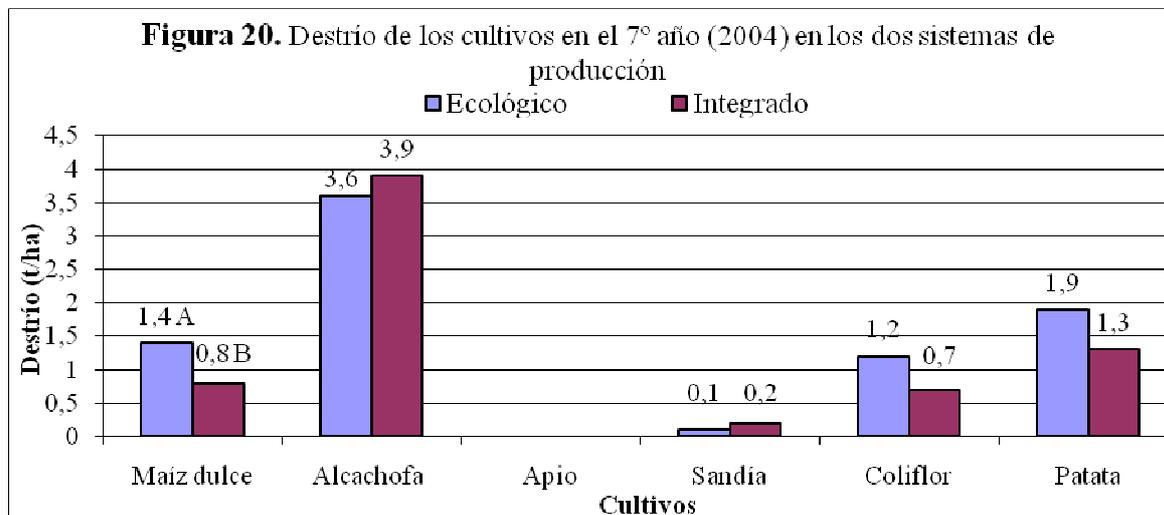
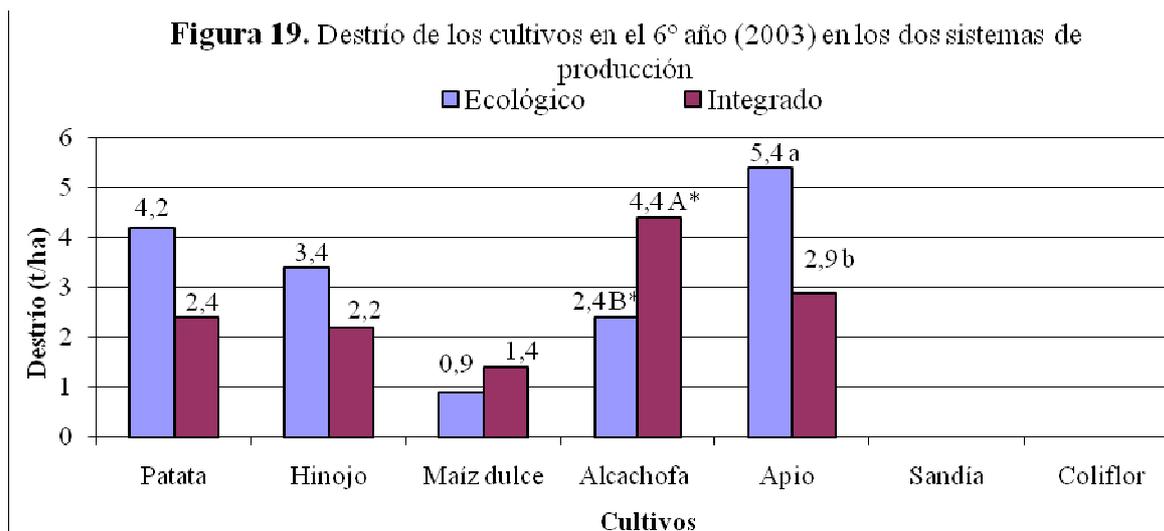
**Tabla 10.** Efecto del sistema de producción ecológica en el rendimiento relativo, con respecto a la producción integrada (PI)

Cultivos	Años	Rendimiento relativo (PI = 100)
		Ecológico
Sandía	2002	113
	2003	93
	2004	94
	2005	114
Media		103
Coliflor	2002	113
	2003	110
	2004	94
	2005	91
Media		102
Patata	2002	97
	2003	88
	2004	85
	2005	90
Media		90
Hinojo	2002	103
	2003	78
	2005	114
Media		98
Maíz dulce	2002	76
	2003	48
	2004	82
Media		69
Alcachofa	2002	82
	2003	106
	2004	85
	2005	48
Media		80
Apio	2003	79
	2004	97
	2005	114
Media		97
Judía	2002	57
Lechuga	2002	36

#### 4.1.2. Destrío

Los resultados de destrío en los distintos cultivos implantados en los cuatro años del estudio (5°, 6°, 7° y 8° año) se muestran en las Figuras 18, 19, 20 y 21, respectivamente. La comparación de ambas modalidades de producción (ecológica e integrada) indica que únicamente se obtuvieron diferencias significativas en unos pocos cultivos: lechuga del 5° año, alcachofa y apio verde del 6° y 8° año, y maíz dulce del 7° año. El efecto del sistema de producción sobre la cuantía del destrío resultó variable en función del cultivo y año del estudio. Así, mientras que en el 5°, 6° y 7° año la tendencia constatada fue de un mayor destrío en el sistema de producción ecológica, en el 8° año la tendencia resultante fue la opuesta. Y la valoración de la aptitud en producción ecológica de los distintos cultivos hortícolas implantados desde el punto de vista de generación de destrío (Tabla 11) presentó la siguiente secuencia: lechuga < hinojo < patata < coliflor < maíz dulce < sandía < apio < alcachofa..





Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ ; letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$  y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$

**Tabla 11.** Efecto del sistema de producción ecológica sobre el destrío relativo, con respecto a la producción integrada (PI)

Cultivos	Años	Destrío relativo (PI = 100)	
			Ecológico
Sandía	2002		116
	2003		-
	2004		50
	2005		183
Media			116
Coliflor	2002		126
	2003		-
	2004		171
	2005		83
Media			127
Patata	2002		100
	2003		175
	2004		166
	2005		109
Media			138
Hinojo	2002		275
	2003		155
	2005		102
Media			177
Maíz dulce	2003		64
	2004		175
Media			120
Alcachofa	2002		94
	2003		55
	2004		92
	2005		23
Media			66
Apio	2003		100
	2005		38
Media			112
Lechuga	2002		229

#### 4.1.3. Peso medio de los productos cosechados

Los valores de peso medio de los distintos productos cosechados en los cuatros años del estudio se muestran en la Tabla 12. Puede observarse que las diferencias entre ambas modalidades de producción resultaron poca significativas y variables según el año de rotación y el cultivo en cuestión. Así, cabe indicar que solamente se registraron diferencias significativas en seis cultivos: sandía sin semilla y coliflor en el 5° año, hinojo (2ª clase), alcachofa, apio y coliflor (8 piezas/caja) en el 6° año, maíz dulce (1° clase) en el 7° año, e hinojo (1ª y 2ª clase) y coliflor (6 piezas) en el 8° año. Y de estos cultivos, la producción ecológica resultó más efectiva para incrementar el peso medio

en los casos de sandía sin semilla y coliflor en el 5º año, hinojo (2ª clase) y alcachofa en el 6º año, e hinojo (1ª y 2ª clase) en el 8º año. No obstante, en cuatro casos: coliflor (8 piezas/caja) y apio en el 6º año, maíz dulce en el 7º año, y coliflor (6 piezas/caja) en 8º año, los pesos medio obtenidos en la producción integrada fueron superiores a los de la producción ecológica.

**Tabla 12.** Peso medio de los productos cosechados en los sistemas de producción ecológica e integrada

Cultivos		Parcelas	Peso medio (kg)		ES <sub>x</sub>
			Ecológico	Integrado	
<b>5º Año (2002)</b>					
Sandía	Sin semilla	A/I	5,54 A	4,66 B	**
	Con semilla		6,25	5,99	NS
Coliflor			1,368 A	1,286 B	**
Patata			0,144	0,138	NS
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>	B/II	0,513	0,473	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,374	0,370	NS
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,298	0,278	NS
Maíz dulce		C/III	0,378	0,414	NS
Alcachofa			0,133	0,142	NS
Judía		D/IV	0,00520	0,00527	NS
Lechuga			0,720	0,835	NS
<b>6º Año (2003)</b>					
Patata		A/I	0,132	0,140	NS
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>		0,574	0,599	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,403 A	0,360 B	**
	Clase 3 <sup>a</sup>	0,318	0,316	NS	
Maíz dulce	Clase 1 <sup>a</sup>	B/II	0,331	0,350	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,374	0,370	NS
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,298	0,278	NS
Alcachofa			0,134 A	0,126 B	**
Apio		C/III	0,706 B*	0,886 A*	***
Sandía	Sin semilla	D/IV	5,360	5,227	NS
	Con semilla		6,344	6,417	NS
Coliflor	6 Piezas		1,393	1,403	NS
	8 piezas		0,867 B*	0,960 A*	**
<b>7º Año (2004)</b>					
Maíz dulce	Clase 1 <sup>a</sup>	A/I	0,371 B*	0,397 A*	***
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,237	0,247	NS
Alcachofa			0,112	0,113	NS
Apio		B/II	0,779	0,791	NS
Sandía	Sin semilla	C/III	5,568	5,407	NS
	Con semilla		5,605	5,541	NS
Coliflor	6 Piezas		1,346	1,416	NS
	8 piezas		0,954	0,897	NS
Patata		D/IV	0,142	0,148	NS
Hinojo			-	-	Z
<b>8º Año (2005)</b>					
Apio		A/I	0,626	0,595	NS
Sandía	Sin semilla	B/II	7,157	7,015	NS
	Con semilla		5,599	6,411	NS
Coliflor	6 Piezas		1,603 B*	1,761 A*	***
	8 piezas		1,098	1,067	NS
Patata			0,130	0,142	NS
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>	C/III	0,521 A	0,487 B	**
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,367 A	0,352 B	**
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,270	0,289	NS
Alcachofa		D/IV	0,120	0,124	NS

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación. NS, \*, \*\*, \*\*\*: No significativ, significativo a P ≤ 0,10, 0,05 ó 0,01, respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a P ≤ 0,10; letras mayúsculas a P ≤ 0,05 y letras mayúsculas con asterisco a P ≤ 0,01.

Z: No se recolectó por problema de helada.

#### ***4.1.4. Contenido de materia seca en los productos cosechados***

En la Tabla 13 se muestran los contenidos de materia seca en las cosechas de los cultivos implantados durante tres años (5º, 6º y 7º año) del estudio, en los que se estudió este parámetro, tanto en el sistema ecológico como en el sistema integrado. Puede observarse que en la mayoría de los casos las diferencias entre los dos sistemas de producción comparados no resultaron significativas. Y en los 5 casos en que se obtuvieron diferencias significativas, solamente en 1 caso (alcachofa del 6º año) el contenido de materia seca de los productos procedentes del sistema ecológico fue superior a los de la producción integrada, mientras que en los 4 casos restantes se obtuvo una pauta de variación contraria. Y considerando los contenidos de materia seca relativos a los de la producción integrada (PI = 100), la media de los 19 cultivos en los que se determinó este parámetro dio un valor de 98 (Tabla 14).

Respecto al contenido de materia seca en función del cultivo, como puede inferirse de los datos mostrados en la Tabla 15, se obtuvo un amplio rango de variación, desde el maíz dulce que registró el valor más alto (30,2%) hasta la lechuga que presentó el valor más bajo (3,6%).

Los resultados obtenidos en este trabajo sobre materia seca en las cosechas de hortalizas en función del sistema de producción concuerdan bastante con los encontrados en otros estudios (Ribó et al., 2007), pero, en cambio, difieren de los obtenidos por otros autores (Schuphan, 1974a, citado por Vogtman, 1983; Vetter et al., 1983; Matthies, 1991), que encontraron un contenido de materia seca más elevado en las hortalizas de hoja ecológicas que en las cultivadas siguiendo las técnicas de cultivo convencional.

**Tabla 13.** Contenido de materia seca en los productos cosechados en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Parcelas	Materia seca (%)		ES <sub>x</sub>
		Ecológico	Integrado	
<b>5° Año (2002)</b>				
Sandía	<b>A/I</b>	5,82	6,22	NS
Coliflor		5,93	5,77	NS
Patata	<b>B/II</b>	18,52	18,57	NS
Hinojo		4,94	4,66	NS
Maíz dulce	<b>C/III</b>	30,47 b	36,78 a	*
Alcachofa		13,30	13,61	NS
Judía	<b>D/IV</b>	-	-	z
Lechuga		3,67	3,42	NS
<b>6° Año (2003)</b>				
Patata	<b>A/I</b>	19,74	19,54	NS
Hinojo		3,84	4,21	NS
Maíz dulce	<b>B/II</b>	25,7 B*	27,8 A*	***
Alcachofa		14,66 a	12,47 b	*
Apio verde	<b>C/III</b>	5,58	5,29	NS
Sandía	<b>D/IV</b>	5,44 b	8,16 a	*
Coliflor		5,85	6,50	NS
<b>7° Año (2004)</b>				
Maíz dulce	<b>A/I</b>	-	-	z
Alcachofa		11,51	11,54	NS
Apio	<b>B/II</b>	3,26	3,61	NS
Sandía	<b>C/III</b>	6,42 b	8,09 a	*
Coliflor		4,34	4,10	NS
Patata	<b>D/IV</b>	19,35	19,38	NS
Hinojo		-	-	y

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación. NS, \*, \*\*\*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$  ó  $0,01$ , respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ ; letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$  y letras mayúsculas con asterisco a  $\leq 0,01$ .

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helad

**Tabla 14.** Contenido de materia seca en los productos cosechados en el sistema ecológico respecto al sistema integrado (PI)

Cultivos	Parcelas	Materia seca relativa (PI = 100)	
		Ecológico	Integrado
<b>5° Año (2002)</b>			
Sandía	A/I	94	100
Coliflor		103	100
Patata	B/II	100	100
Hinojo		106	100
Maíz dulce	C/III	83	100
Alcachofa		98	100
Judía	D/IV	-	z
Lechuga		107	100
<b>6° Año (2003)</b>			
Patata	A/I	101	100
Hinojo		91	100
Maíz dulce	B/II	92	100
Alcachofa		118	100
Apio	C/III	105	100
Sandía	D/IV	67	100
Coliflor		118	100
<b>7° Año (2004)</b>			
Maíz dulce	A/I	-	z
Alcachofa		100	100
Apio	B/II	90	100
Sandía	C/III	79	100
Coliflor		106	100
Patata	D/IV	100	100
Hinojo		-	y
Media cultivos		<b>98</b>	<b>100</b>

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 15.** Rango de variación y media del contenido de materia seca según cultivo en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Materia seca (%)						Media
	5° Año		6° Año		7° Año		
	Eco.	Int.	Eco.	Int.	Eco.	Int.	
Sandía	5,82	6,22	5,44	8,16	6,42	8,09	6,69
Coliflor	5,93	5,77	14,85	6,50	4,34	4,10	5,42
Patata	18,52	18,57	19,74	19,54	19,30	19,38	19,18
Hinojo	4,94	4,66	3,84	4,21			4,41
Maíz dulce	30,47	36,78	25,7	27,80			30,19
Alcachofa	13,30	13,61	14,66	12,47	11,51	11,54	12,84
Judía							
Lechuga	3,67	3,42					3,55
Apio			5,58	5,29	3,26	3,61	5,00

#### **4.1.5. Contenido de macronutrientes en los productos cosechados**

Aunque en el material vegetal correspondiente a los productos cosechados se determinaron los macro y los micronutrientes, en este trabajo sólo se han incluido los primeros. Las concentraciones obtenidas en los cultivos correspondiente al nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se muestran en las Tablas 16, 19, 22 y 25, respectivamente.

##### **4.1.5.1. Nitrógeno**

De las 19 cosechas en las que se determinó este parámetro, correspondientes a las rotaciones del 5º, 6º y 7º año, en los dos sistemas de producción, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, con diferentes niveles de significación, en el contenido de nitrógeno en 11 de éstas (Tabla 16). No obstante, el patrón de variación resultó variable según el cultivo y la campaña. Así, el nivel de nitrógeno resultó superior en el sistema ecológico en 5 casos (sandía y alcachofa del 5º año, alcachofa del 6º año, y apio y sandía del 7º año), pero en los otros 6 casos (coliflor, patata y maíz dulce del 5º año, y patata, sandía y coliflor del 6º año) los productos procedentes del sistema integrado dieron concentraciones de nitrógeno superiores a los derivados de la producción ecológica. Y en el conjunto de todos los cultivos, en la producción ecológica se obtuvo un contenido de nitrógeno relativo al registrado en la producción integrada (PI = 100) de 102 (Tabla 17).

Por otra parte, el contenido de nitrógeno en función del cultivo (Tabla 18), como era de esperar, registró un amplio rango de variación, desde la lechuga que dio el valor medio más alto (4,28 %N) hasta los tubérculos de patata que presentaron la concentración media más baja (1,34 %N).

**Tabla 16.** Contenido de nitrógeno (N) en los productos cosechados en el 5º, 6º y 7º año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Parcelas	Nitrógeno (% N s.m.s.)		ES <sub>x</sub>
		Ecológico	Integrado	
<b>5º Año (2002)</b>				
Sandía	<b>A/I</b>	3,31 A	2,77 B	**
Coliflor		3,57 B	4,57 A	**
Patata	<b>B/II</b>	1,16 b	1,29 a	*
Hinojo		3,19	3,20	NS
Maíz dulce	<b>C/III</b>	1,51 B	1,66 A	**
Alcachofa		3,38 A*	2,29 B*	***
Judía	<b>D/IV</b>	-	-	Z
Lechuga		4,28	4,28	NS
<b>6º Año (2003)</b>				
Patata	<b>A/I</b>	1,32 B	1,46 A	**
Hinojo		3,19	3,20	NS
Maíz dulce	<b>B/II</b>	2,00	1,90	NS
Alcachofa		3,19 A	2,70 B	**
Apio	<b>C/III</b>	2,64	2,70	NS
Sandía	<b>D/IV</b>	1,57 B	2,17 A	**
Coliflor		3,59 B*	3,94 A*	***
<b>7º Año (2004)</b>				
Maíz dulce	<b>A/I</b>	0	0	Z
Alcachofa		2,31	2,20	NS
Apio	<b>B/II</b>	2,32 A	1,82 B	**
Sandía	<b>C/III</b>	3,74 A*	3,04 B*	***
Coliflor		1,49	1,97	NS
Patata	<b>D/IV</b>	1,40	1,41	NS
Hinojo		-	-	y

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación NS, \*, \*\*, \*\*\*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$ ,  $0,05$  ó  $0,01$ , respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ ; letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$  y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$ .

Z: No se dispuso de muestra para la determinación

No se recolectó por problema de helada

**Tabla 17.** Contenido de nitrógeno de los productos cosechados en el sistema ecológico respecto al sistema integrado (PI)

Cultivos	Parcelas	Nitrógeno relativo (PI = 100)	
		Ecológico	Integrado
<b>5° Año (2002)</b>			
Sandía	A/I	119	100
Coliflor		78	100
Patata	B/II	90	100
Hinojo		100	100
Maíz dulce	C/III	91	100
Alcachofa		148	100
Judía	D/IV	-	z
Lechuga		100	100
<b>6° Año (2003)</b>			
Patata	A/I	90	100
Hinojo		100	100
Maíz dulce	B/II	105	100
Alcachofa		118	100
Apio verde	C/III	98	100
Sandía	D/IV	72	100
Coliflor		91	100
<b>7° Año (2004)</b>			
Maíz dulce	A/I	-	z
Alcachofa		105	100
Apio	B/II	127	100
Sandía	C/III	123	100
Coliflor		76	100
Patata	D/IV	99	100
Hinojo		-	y
Media cultivos		<b>102</b>	<b>100</b>

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recoltó por problema de helada

**Tabla 18.** Rango de variación y media del contenido de nitrógeno por cultivo en el 5°, 6° y 7° años de producción

Cultivos	Nitrógeno (% N s.m.s.)						Media
	5° Año		6° Año		7° Año		
	Eco.	Int.	Eco.	Int.	Eco.	Int.	
Sandía	3,31	2,77	1,57	2,17	3,74	3,04	2,83
Coliflor	3,57	4,57	3,59	3,94	1,49	1,97	3,19
Patata	1,16	1,29	1,32	1,46	1,40	1,41	1,34
Hinojo	3,19	3,20	3,19	3,20			3,19
Maíz dulce	1,51	1,66	2,00	1,90			1,77
Alcachofa	3,38	2,29	3,19	2,70	2,31	2,20	2,68
Judía							
Lechuga	4,28	4,28					4,28
Apio verde			2,64	2,70	2,32	1,82	2,37

#### 4.1.5.2. Fósforo

Los contenidos de fósforo en las 19 cosechas en las que se estudió este parámetro, en el 5º, 6º y 7º año del estudio, se muestran en la Tabla 19. Puede observarse que entre las dos modalidades del sistema de producción se registraron diferencias significativas con (diferentes niveles de significación) en el contenido de fósforo en 12 de las mismas. Sin embargo, el patrón de variación resultó variable según el cultivo y la campaña. Así pues el nivel de fósforo resultó superior en el sistema integrado en 9 casos (coliflor y maíz dulce en el 5º año, maíz dulce, alcachofa, sandía y coliflor en el 6º año, y alcachofa, apio y coliflor en el 7º año), mientras que en los 3 casos restantes (sandía del 5º año, patata del 6º año, y sandía del 7º año), las cosechas obtenidas en el sistema ecológico dieron concentraciones de fósforo superiores a las derivadas de la producción integrada. El valor medio en todos los cultivos bajo producción ecológica dio un contenido de fósforo relativo al registrado en el sistema integrado (PI = 100) de 97 (Tabla 20).

Y en cuanto al contenido de fósforo en función del cultivo (Tabla 21), se registró un amplio rango de variación desde el cultivo de coliflor (pella) con el valor más alto (1,75% P) hasta la patata (tubérculos) con la concentración más baja (0,52% P).

**Tabla 19.** Contenido de fósforo en los productos cosechados en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Parcela	Fósforo (% P s.m.s.)		ES <sub>x</sub>
		Ecológico	Integrado	
<b>5° Año (2002)</b>				
Sandía	<b>A/I</b>	0,66 a	0,59 b	*
Coliflor		1,51 B	1,76 A	**
Patata	<b>B/II</b>	0,48	0,32	NS
Hinojo		0,72	0,72	NS
Maíz dulce	<b>C/III</b>	1,58 b	1,64 a	*
Alcachofa		0,59	0,55	NS
Judía	<b>D/IV</b>	0	0	z
Lechuga		1,45	1,39	NS
<b>6° Año (2003)</b>				
Patata	<b>A/I</b>	0,62 A*	0,51 B*	***
Hinojo		0,72	0,72	NS
Maíz dulce	<b>B/II</b>	0,75 B*	0,90 A*	***
Alcachofa		0,81 b	1,12 a	*
Apio	<b>C/III</b>	1,55	1,58	NS
Sandía	<b>D/IV</b>	0,53 B*	1,01 A*	***
Coliflor		1,32 b	1,93 a	*
<b>7° Año (2004)</b>				
Maíz dulce	<b>A/I</b>	0	0	z
Alcachofa		0,57 b	0,62 a	*
Apio verde	<b>B/II</b>	1,33 b	1,57 a	*
Sandía	<b>C/III</b>	0,88 A	0,77 B	**
Coliflor		1,98 b	2,22 a	*
Patata	<b>D/IV</b>	0,53	0,51	NS
Hinojo		0	0	y

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación NS, \*, \*\*, \*\*\*: No significativo o significativo a P≤ 0,10, 0,05 ó 0,01, respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a P≤ 0,10; letras mayúsculas a P≤ 0,05 y letras mayúsculas con asterisco a P≤ 0,01.

Z: No se dispuso de muestra para la determinación

Y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 20.** Contenido de fósforo en los productos cosechados en el sistema ecológico respecto al sistema integrado (PI)

Cultivos	Parcelas	Fósforo relativo (PI = 100)	
		Ecológico	Integrado
<b>5° Año (2002)</b>			
Sandía	A/I	112	100
Coliflor		86	100
Patata	B/II	150	100
Hinojo		100	100
Maíz dulce	C/III	96	100
Alcachofa		107	100
Judía	D/IV	0	z
Lechuga		104	100
<b>6° Año (2003)</b>			
Patata	A/I	122	100
Hinojo		100	100
Maíz dulce	B/II	83	100
Alcachofa		72	100
Apio verde	C/III	98	100
Sandía	D/IV	52	100
Coliflor		68	100
<b>7° Año (2004)</b>			
Maíz dulce	A/I	-	z
Alcachofa		92	100
Apio	B/II	85	100
Sandía	C/II	114	100
Coliflor		89	100
Patata	D/IV	104	100
Hinojo		-	y
<b>Media cultivos</b>		<b>97</b>	<b>100</b>

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 21.** Rango de variación y media del el contenido de fósforo por cultivo en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Fósforo (% P s.m.s.)						Media
	5° Año		6° Año		7° Año		
	Eco.	Int.	Eco.	Int.	Eco.	Int.	
Sandía	0,66	0,66	0,53	1,01	0,88	0,77	0,75
Coliflor	1,51	1,51	1,32	1,93	1,98	2,22	1,75
Patata	0,48	0,48	0,62	0,51	0,53	0,51	0,52
Hinojo	0,72	0,72	0,72	0,72			0,72
Maíz dulce	1,58	1,58	0,75	0,90			1,20
Alcachofa	0,59	0,59	0,81	1,12	0,57	0,62	0,72
Judía							
Lechuga	1,45	1,45					1,45
Apio			2,45	2,42	1,33	1,57	1,52

#### 4.1.5.3. Potasio

El contenido de potasio en los productos cosechados en ambos sistemas de producción (ecológico e integrado) a lo largo de los tres años del estudio se presentan en la Tabla 22. Cabe observar que de las 19 cosechas en las que se determinó este parámetro, se registraron diferencias significativas con diferentes niveles de significación en 11 de éstas, si bien el patrón de variación resultó variable según el cultivo y campaña. Así, el contenido de potasio resultó superior en el sistema integrado en 7 casos (sandía, patata y lechuga en el 5° año, patata, hinojo y sandía en el 6° año, y patata del 7° año). Por el contrario, en los 4 casos restantes (coliflor, maíz dulce y alcachofa en el 6° año, y maíz dulce del 7° año) los productos procedentes del sistema ecológico presentaron concentraciones de potasio superiores a los derivados de la producción integrada. Y en el conjunto de todos los cultivos (Tabla 23), en la producción ecológica se obtuvo un contenido de potasio relativo al registrado en la producción integrada (PI = 100) de 95.

Por otra parte, el contenido de potasio en función del cultivo (Tabla 24), como era previsible, registró un amplio rango de variación, desde el cultivo de alcachofa con el valor medio más alto (3,22% K) hasta el maíz dulce que dio la concentración media más baja (1,52% K).

**Tabla 22.** Contenido de potasio en los productos cosechados en el 5º, 6º y 7º año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Parcela	Potasio (% K s.m.s.)		ES <sub>x</sub>
		Ecológico	Integrado	
<b>5º Año (2002)</b>				
Sandía	<b>A/I</b>	2,20 B	3,49 A	**
Coliflor		2,45 a	2,04 b	*
Patata	<b>B/II</b>	2,60 b	2,87 a	*
Hinojo		1,54	2,80	NS
Maíz dulce	<b>C/III</b>	1,62 a	1,52 b	*
Alcachofa		4,02 A	3,05 B	**
Judía	<b>D/IV</b>	-	-	Z
Lechuga		1,96 B	3,19 A	**
<b>6º Año (2003)</b>				
Patata	<b>A/I</b>	2,27 B	2,89 A	**
Hinojo		2,54 B	2,80 A	**
Maíz dulce	<b>B/II</b>	1,56 A	1,39 B	**
Alcachofa		2,10	1,97	NS
Apio verde	<b>C/III</b>	2,45	2,42	NS
Sandía	<b>D/IV</b>	2,27 B	2,89 A	**
Coliflor		2,45	2,42	NS
<b>7º Año (2004)</b>				
Maíz dulce	<b>A/I</b>	-	-	Z
Alcachofa		4,03	4,14	NS
Apio verde	<b>B/II</b>	2,25	2,28	NS
Sandía	<b>C/III</b>	3,80	3,48	NS
Coliflor		2,28	2,23	NS
Patata	<b>D/IV</b>	2,81 b	2,99 a	*
Hinojo		-	-	y

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación. NS, \*, \*\*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$  ó  $0,05$ , respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$  y letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$ .

Z: No se dispuso de muestra para la determinación

Y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 23.** Contenido de potasio de los productos cosechados en el sistema ecológico respecto al sistema integrado (PI)

Cultivos	Parcelas	Potasio relativo (PI = 100)	
		Ecológico	Integrado
<b>5° Año (2002)</b>			
Sandía	A/I	63	100
Coliflor		120	100
Patata	B/II	91	100
Hinojo		55	100
Maíz dulce	C/III	107	100
Alcachofa		132	100
Judía	D/IV	-	z
Lechuga		61	100
<b>6° Año (2003)</b>			
Patata	A/I	79	100
Hinojo		91	100
Maíz dulce	B/II	112	100
Alcachofa		107	100
Apio verde	C/III	101	100
Sandía	D/IV	79	100
Coliflor		101	100
<b>7° Año (2004)</b>			
Maíz dulce	A/I	-	z
Alcachofa		97	100
Apio	B/II	99	100
Sandía	C/III	109	100
Coliflor		102	100
Patata	D/IV	94	100
Hinojo		-	y
Media cultivos		<b>95</b>	<b>100</b>

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 24.** Rango de variación y media del contenido de potasio por cultivo en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Potasio (% K s.m.s.)						Media
	5° Año		6° Año		7° Año		
	Eco.	Int.	Eco.	Int.	Eco.	Int.	
Sandía	2,20	3,49	2,27	2,89	3,80	3,48	3,02
Coliflor	2,45	2,04	2,45	2,42	2,28	2,23	2,31
Patata	2,60	2,87	2,27	2,89	2,81	2,99	2,74
Hinojo	1,54	2,80	2,54	2,80			2,42
Maíz dulce	1,62	1,52	1,56	1,39			1,52
Alcachofa	4,02	3,05	2,10	1,97	4,03	4,14	3,22
Judía							
Lechuga	1,96	3,19					2,58
Apio verde			2,45	2,42	2,25	2,28	2,52

#### 4.1.5.4. Magnesio

En la Tabla 25 se muestran las concentraciones de magnesio obtenidas en los productos cosechados en los dos sistemas de producción comparados (ecológico e integrado) durante los tres años del estudio.

De las 19 cosechas en las que se estudió éste parámetro, se obtuvieron diferencias significativas (con diferentes niveles de significación) en 9 de éstas, aunque el patrón de variación resultó variable según el cultivo y la campaña. Así, mientras que el nivel de magnesio resultó superior en el sistema integrado en 7 casos (hinojo en el 5º año, hinojo, maíz dulce, apio y sandía en el 6º año, y coliflor y patata en el 7º año), en los otros 2 casos (sandía en el 5º año y sandía en el 7º año), los productos procedentes del sistema ecológico dieron concentraciones de magnesio superiores a los derivados de la producción integrada. Y en el conjunto de todos los cultivos (Tabla 26), en la producción ecológica se obtuvo un contenido de magnesio relativo al registrado en la producción integrada (PI = 100) de 102.

Por otra parte, el contenido de magnesio en función del cultivo (Tabla 27), como era previsible, registró un amplio rango de variación, desde la lechuga y el apio con un valor de 0,75% Mg hasta la patata que dio la concentración media más baja (0,21% Mg).

**Tabla 25.** Contenido de magnesio en los productos cosechados en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Parcelas	Magnesio (% Mg s.m.s.)		ES <sub>x</sub>
		Ecológico	Integrado	
<b>5° Año (2002)</b>				
Sandía	A/I	0,61 a	0,55 b	*
Coliflor		0,59	0,68	NS
Patata	B/II	0,22	0,20	NS
Hinojo		0,50 B	0,66 A	**
Maíz dulce	C/III	0,32	0,32	NS
Alcachofa		0,47	0,49	NS
Judía	D/IV	-	-	z
Lechuga		0,74	0,76	NS
<b>6° Año (2003)</b>				
Patata	A/I	0,23	0,22	NS
Hinojo		0,54 B	0,66 A	**
Maíz dulce	B/II	0,22 B*	0,25 A*	***
Alcachofa		0,93A	0,41B	**
Apio	C/III	0,82 B	0,96 A	**
Sandía	D/IV	0,29 B	0,40 A	**
Coliflor		0,43	0,46	NS
<b>7° Año (2004)</b>				
Maíz dulce	A/I	-	-	z
Alcachofa		0,30	0,31	NS
Apio	B/II	0,80	0,76	NS
Sandía	C/III	0,49 A	0,39 B	**
Coliflor		0,46 B	0,51 A	**
Patata	D/IV	0,20 b	0,21 a	*
Hinojo		-	-	y

ES<sub>x</sub>: Nivel de significación. NS, \*, \*\*, \*\*\* : No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$ ,  $0,05$  ó  $0,01$ , respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ ; letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$  y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$ .

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 26.** Contenido de magnesio de los productos cosechados en el sistema ecológico con respecto al sistema integrado de producción (PI)

Cultivos	Parcelas	Magnesio relativo (PI = 100)	
		Ecológico	Integrado
<b>5° Año (2002)</b>			
Sandía	A/I	111	100
Coliflor		87	100
Patata	B/II	110	100
Hinojo		76	100
Maíz dulce	C/III	100	100
Alcachofa		96	100
Judía	D/IV	-	z
Lechuga		97	100
<b>6° Año (2003)</b>			
Patata	A/I	105	100
Hinojo		82	100
Maíz dulce	B/II	88	100
Alcachofa		227	100
Apio	C/III	85	100
Sandía	D/IV	73	100
Coliflor		93	100
<b>7° Año (2004)</b>			
Maíz dulce	A/I	-	z
Alcachofa		97	100
Apio	B/II	105	100
Sandía	C/III	126	100
Coliflor		90	100
Patata	D/IV	95	100
Hinojo		-	y
<b>Media cultivos</b>		<b>102</b>	<b>100</b>

z: No se dispuso de muestra para la determinación

y: No se recolectó por problema de helada

**Tabla 27.** Rango de variación y media del contenido de magnesio por cultivo en el 5°, 6° y 7° año en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado)

Cultivos	Magnesio (% Mg s.m.s.)						Medio
	5° Año		6° Año		7° Año		
	Eco.	Int.	Eco.	Int.	Eco.	Int.	
Sandía	0,61	0,55	0,29	0,40	0,49	0,39	0,46
Coliflor	0,59	0,68	0,43	0,46	0,46	0,51	0,52
Patata	0,22	0,20	0,23	0,22	0,20	0,21	0,21
Hinojo	0,50	0,66	0,54	0,66			0,59
Maíz dulce	0,32	0,32	0,22	0,25			0,28
Alcachofa	0,47	0,49	0,93	0,41	0,30	0,31	0,49
Judía							
Lechuga	0,74	0,76					0,75
Apio			0,82	0,96	0,80	0,76	0,75

#### ***4.1.6. Contenidos armonizados de materia seca en los productos cosechados en el periodo 1998-2006***

A tenor de las altas discrepancias constatadas en los contenidos de materia seca de los productos resultantes en algunas campañas, procedimos a comparar los valores obtenidos durante los tres años de este estudio con los resultantes en las restantes campañas desde el inicio del proyecto (1998-2006), para lo cual se realizó una recopilación de los valores de materia seca obtenidos en todos los cultivos implantados en las distintas campañas desde el inicio del proyecto, cuyos resultados se muestran en la Tabla 28. Y tras calcular el valor medio  $P_{(x)}$  y la desviación estándar (D. Est.) de materia seca por cultivo y sistema de manejo, y considerando como valores discrepantes en un cultivo determinado aquellos que quedaron fuera del rango media  $\pm 2$  desviación estándar, se obtuvieron los valores de materia seca aceptables, es decir, aquellos que no mostraban indicios claros de ser erróneos.

Los resultados de materia seca que resultaron erróneos correspondieron en el sistema ecológico a sandía (año 2000), coliflor (año 2001) y patata (año 2005), y en el sistema integrado a los cultivos de patata (año 2005) y alcachofa (año 2007).

Tras la eliminación de los valores discrepantes, se realizó el análisis estadístico de los datos, constatándose valores medios muy similares entre los dos sistemas de cultivo comparados, no apreciándose diferencias significativas entre ellos.

Los valores medios de materia seca obtenidos en las diversas especies después del proceso de homogeneización resultaron similares a los que encontraron otros autores como: Schuphan (1974b) citado por Vogtman (1983); Fink et al. (1999); Pomares et al. (2003a); y, Ribó (2003).

**Tabla 28.** Valores de materia seca en los cultivos de diferentes campañas en los dos sistema de producción

Años	Sandía	Coliflor	Patata	Hinojo	Maíz dul.	Alcachofa	Lechuga	Apio	Judía
	Materia Seca (%)								
	Sistema ecológico (PE)								
1998	7,23			6,03			3,66		
1999	6,87	6,42	17,63	5,76		13,00	5,45		10,18
2000	4,10*	5,65	16,70						6,47
2001		9,80*		6,23	20,80	15,30	3,44		
2002			17,80		22,20				7,39
(2002) 5°	5,82	5,93	18,55	4,94	30,47	13,30	3,67		-
(2003) 6°	5,44	5,85	19,54	3,84	25,70	12,47		5,58	
(2004) 7°	6,60	4,34	19,30	-	-	14,71		3,26	
(2005) 8°	6,42	4,40	11,54*	4,71	-	11,51			
2006	7,51	-	19,30	3,98		15,60			
2007	7,02		20,02						
<b>P<sub>(x)</sub></b>	<b>6,56</b>	<b>5,43</b>	<b>18,40</b>	<b>5,07</b>	<b>24,79</b>	<b>11,47</b>	<b>4,06</b>	<b>4,42</b>	<b>8,01</b>
<b>D. Est.</b>	<b>0,74</b>	<b>0,86</b>	<b>1,06</b>	<b>0,97</b>	<b>4,31</b>	<b>1,41</b>	<b>0,94</b>	<b>1,64</b>	<b>1,93</b>
Sistema integrado (PI)									
1998	6,28			5,86			3,78		
1999	6,82	5,79	18,91	5,82		13,20	4,57		13,10
2000	4,20	5,45	18,60						6,67
2001		8,17		4,31	22,40	15,40	3,35		
2002			17,90		22,10				8,16
(2002) 5°	6,98	5,77	18,57	4,66	36,78	13,50	3,42		-
(2003) 6°	5,16	6,50	19,74	4,21	27,80	14,65		5,29	
(2004) 7°	8,10	4,10	19,38	-	-	14,63		3,61	
(2005) 8°	8,09	2,99	11,54*	4,63	-	11,54			
2006	7,03	-	19,40	4,19		20,20			
2007	6,88		20,05						
<b>P<sub>(x)</sub></b>	<b>6,62</b>	<b>5,54</b>	<b>19,07</b>	<b>4,81</b>	<b>27,27</b>	<b>14,75</b>	<b>3,78</b>	<b>4,45</b>	<b>9,31</b>
<b>D. Est.</b>	<b>1,27</b>	<b>1,66</b>	<b>0,71</b>	<b>0,73</b>	<b>6,86</b>	<b>2,75</b>	<b>0,56</b>	<b>1,19</b>	<b>3,37</b>
<b>Signif. PE vs PI</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>

(X<sup>\*</sup>): Los valores con asterisco difieren y fueron descartados

#### 4.1.7. Contenidos armonizados de macronutrientes en los productos cosechados en el periodo 1998-2006

De forma análoga a lo indicado en el punto anterior (4.1.6.), se realizó una recopilación de los valores de contenido de nutrientes obtenidos durante los años en que se tenían datos analíticos (Tablas 29-37), y se analizaron estadísticamente para descartar aquellos valores que estuvieran fuera de unos límites razonables de variación. Posteriormente, y tras la eliminación de los datos discrepantes, se realizó el análisis de la varianza para comparar los resultados en cada cultivo en función del sistema de manejo.

## 4.1.7.1. Sandía

En el cultivo de sandía, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 9 años en ambos sistemas de producción se muestran en Tabla 29. Los valores erráticos detectados fueron: el contenido de nitrógeno en el 2000 con el sistema integrado, y fósforo en los dos sistemas del año 2001. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes estudiados. Estos resultados son concordantes con los expuestos en el punto 4.1.5. Así mismo, los valores medios de macronutrientes obtenidos en los frutos de sandía son bastante concordantes con los obtenidos en otros estudios (Pomares et al., 2003a; Ribó, 2003).

**Tabla 29.** Valores de macronutrientes en sandía en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
		Sistema ecológico (PE)			
1998	Sandía	2,16	0,30	3,72	0,22
1999	Sandía	2,33	0,27	2,11	0,21
2000	Sandía	2,97	0,31	1,95	0,32
2001	Sandía	2,45	0,72*	2,45	0,13
2002 (5°)	Sandía	3,31	0,29	1,93	0,37
2003 (6°)	Sandía	1,57	0,23	1,89	0,17
2004 (7°)	Sandía	3,74	0,38	3,17	0,30
2005 (8°)	Sandía	2,74	0,38	3,17	0,29
2006	Sandía	2,29	0,28	1,67	0,22
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>2,62</b>	<b>0,31</b>	<b>2,45</b>	<b>0,25</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,65</b>	<b>0,05</b>	<b>0,73</b>	<b>0,08</b>
Sistema integrado (PI)					
1998	Sandía	2,26	0,30	3,78	0,23
1999	Sandía	2,28	0,26	2,66	0,27
2000	Sandía	3,91*	0,44	2,54	0,38
2001	Sandía	2,71	0,71*	2,56	0,18
2002 (5°)	Sandía	2,77	0,26	2,91	0,33
2003 (6°)	Sandía	2,17	0,44	2,41	0,24
2004 (7°)	Sandía	3,04	0,33	2,90	0,23
2005 (8°)	Sandía	3,04	0,32	2,90	0,24
2006	Sandía	2,55	0,25	1,67	0,21
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>2,60</b>	<b>0,33</b>	<b>2,70</b>	<b>0,26</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,35</b>	<b>0,08</b>	<b>0,56</b>	<b>0,06</b>
<b>Signif. PE vs PI</b>		NS	NS	NS	NS

(X): Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.2. Coliflor

En el cultivo de coliflor, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 8 años en ambos sistemas de producción se muestran en Tabla 30. Los valores erráticos detectados en este cultivo fueron solamente el contenido de nitrógeno en el sistema ecológico (año 2004). Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes estudiados. Los contenidos medios de macronutrientes en las pellas de coliflor fueron concordantes con los obtenidos en otro estudio (Ribó, 2003), pero discrepantes, excepto en el potasio, con los indicados por Fink et al. (1999), que observaron contenidos superiores en nitrógeno, fósforo y magnesio.

**Tabla 30.** Valores de macronutrientes en coliflor en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
1999	Coliflor	3,73	0,63	5,18	0,22
2000	Coliflor	3,82	0,56	2,19	0,20
2001	Coliflor	4,26	0,44	3,18	0,21
2002 (5°)	Coliflor	3,57	0,66	2,04	0,36
2003 (6°)	Coliflor	3,59	0,57	2,04	0,26
2004 (7°)	Coliflor	1,48*	0,86	1,90	0,28
2005 (8°)	Coliflor	2,68	0,46	4,92	0,28
2006	Coliflor	4,31	0,61	1,77	0,23
$P_{(X)}$		<b>3,71</b>	<b>0,60</b>	<b>2,90</b>	<b>0,26</b>
D. Est.		<b>0,54</b>	<b>0,13</b>	<b>1,39</b>	<b>0,05</b>
Sistema integrado (PI)					
1999	Coliflor	4,23	0,68	5,51	0,22
2000	Coliflor	3,76	0,57	2,22	0,23
2001	Coliflor	4,22	0,52	2,83	0,15
2002 (5°)	Coliflor	4,57	0,77	1,70	0,41
2003 (6°)	Coliflor	3,94	0,84	2,02	0,28
2004 (7°)	Coliflor	1,97	0,97	1,86	0,31
2005 (8°)	Coliflor	2,76	0,50	5,55	0,26
2006	Coliflor	4,21	0,61	2,01	0,24
$P_{(X)}$		<b>3,71</b>	<b>0,68</b>	<b>2,96</b>	<b>0,26</b>
D. Est.		<b>0,89</b>	<b>0,17</b>	<b>1,62</b>	<b>0,08</b>
Signif. PE vs PI		NS	NS	NS	NS

(X\*): Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.3. Patata

En el cultivo de patata, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 9 años en ambos sistemas de producción se muestran en Tabla 31. Los valores erráticos detectados fueron: el contenido de nitrógeno, fósforo y magnesio en ambos sistemas del año 2005. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. Los contenidos medios de macronutrientes registrados en los tubérculos de patata resultaron similares a los encontrados en otros trabajos (Fink et al., 1999; Pomares et al., 2003b; Ribó, 2003).

**Tabla 31.** Valores de macronutrientes en patata en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Año	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
1999	Patata	1,55	0,24	2,79	0,14
2000	Patata	1,83	0,18	1,85	0,15
2001	Patata	1,34	0,48	2,15	0,11
2002 (5°)	Patata	1,16	0,21	2,17	0,13
2003 (6°)	Patata	1,32	0,27	1,89	0,14
2004 (7°)	Patata	1,40	0,23	2,34	0,12
2005 (8°)	Patata	3,01*	0,95*	2,82	0,48*
2006	Patata	1,41	0,23	2,34	0,12
2007	Patata	1,35	0,22	1,88	0,12
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>1,42</b>	<b>0,26</b>	<b>2,25</b>	<b>0,13</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,20</b>	<b>0,09</b>	<b>0,37</b>	<b>0,01</b>
Sistema integrado (PI)					
1999	Patata	1,43	0,21	2,38	0,13
2000	Patata	1,59	0,16	2,05	0,12
2001	Patata	1,25	0,38	1,71	0,10
2002 (5°)	Patata	1,29	0,14	2,39	0,13
2003 (6°)	Patata	1,46	0,22	2,41	0,14
2004 (7°)	Patata	1,41	0,22	2,49	0,13
2005 (8°)	Patata	3,06*	0,85*	2,98	0,49*
2006	Patata	1,40	0,22	2,49	0,12
2007	Patata	1,33	0,21	1,89	0,13
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>1,40</b>	<b>0,22</b>	<b>2,31</b>	<b>0,13</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,38</b>	<b>0,01</b>
<b>Signif. PE vs PI</b>		NS	NS	NS	NS

(X). Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.4. Hinojo

En el cultivo de hinojo, los resultados del contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 7 años en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 32. No se descartó ninguno valor en los dos sistemas. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes.

Los contenidos medios de macronutrientes registrados en los bulbos de hinojo concuerdan con los encontrados por otros autores (Ribó, 2003); pero discrepan, particularmente en el nitrógeno y el fósforo, con los obtenidos por Fink et al. (1999), que encontraron inferiores.

**Tabla 32.** Valores de macronutrientes en hinojo en diferentes campañas en los dos sistema de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
<b>Sistema ecológico (PE)</b>					
1998	Hinojo	2,91	0,44	4,79	0,31
1999	Hinojo	3,42	0,44	1,99	0,34
2001	Hinojo	2,82	0,41	4,23	0,33
2002 (5°)	Hinojo	3,53	0,78	1,80	0,29
2003 (6°)	Hinojo	3,19	0,31	2,12	0,33
2004 (7°)	Hinojo	-	-	-	-
2005 (8°)	Hinojo	2,47	0,58	6,45	0,37
2006	Hinojo	2,84	0,86	2,08	0,39
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>3,03</b>	<b>0,55</b>	<b>3,35</b>	<b>0,34</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,37</b>	<b>0,20</b>	<b>1,82</b>	<b>0,03</b>
<b>Sistema integrado (PI)</b>					
1998	Hinojo	2,82	0,41	5,26	0,28
1999	Hinojo	3,19	0,35	2,00	0,28
2001	Hinojo	3,29	0,65	5,05	0,38
2002 (5°)	Hinojo	3,67	0,87	2,12	0,30
2003 (6°)	Hinojo	3,20	0,31	2,33	0,40
2004 (7°)	Hinojo	-	-	-	-
2005 (8°)	Hinojo	2,44	0,61	6,18	0,38
2006	Hinojo	2,73	0,73	2,11	0,37
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>3,05</b>	<b>0,56</b>	<b>3,58</b>	<b>0,34</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,41</b>	<b>0,21</b>	<b>1,83</b>	<b>0,05</b>
<b>Sig. PE vs PI</b>		NS	NS	NS	NS

## 4.1.7.5. Maíz dulce

En el cultivo de maíz dulce, los resultados del contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 4 años en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 33. No se descartó ningún valor en ninguno de los dos sistemas. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestar diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. El contenido medio de macronutrientes en los granos de maíz obtenido en este trabajo es concordante, excepto en el fósforo, con los encontrados por Fink et al. (1999).

**Tabla 33.** Valores de macronutrientes en maíz dulce en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
		Sistema ecológico (PE)			
2001	Maíz	1,91	0,34	1,34	0,13
2002	Maíz	1,93	0,60	0,85	0,12
2002 (5°)	Maíz	1,51	0,69	1,39	0,19
2003 (6°)	Maíz	2,00	0,33	1,30	0,13
2004 (7°)	Maíz	-	-	-	-
2005 (8°)	Maíz	-	-	-	-
<b>P<sub>(x)</sub></b>		<b>1,84</b>	<b>0,49</b>	<b>1,22</b>	<b>0,14</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,22</b>	<b>0,18</b>	<b>0,25</b>	<b>0,03</b>
Sistema integrado(PI)					
2001	Maíz	1,80	0,34	1,18	0,11
2002	Maíz	1,85	0,60	0,99	0,12
2002 (5°)	Maíz	1,66	0,71	1,27	0,19
2003 (6°)	Maíz	1,90	0,39	1,16	0,15
2004 (7°)	Maíz	-	-	-	-
2005 (8°)	Maíz	-	-	-	-
<b>P<sub>(x)</sub></b>		<b>1,80</b>	<b>0,51</b>	<b>1,15</b>	<b>0,14</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,10</b>	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>	<b>0,04</b>
<b>Sig. PE vs PI</b>		NS	NS	NS	NS

## 4.1.7.6. Alcachofa

En el cultivo de alcachofa, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 9 años en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 34. Los valores erráticos detectados fueron: el contenido de fósforo y magnesio en los dos sistemas del año 2005. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. Los resultados medios de macronutrientes encontrados en los capítulos de alcachofa son concordantes con los encontrados en otros estudios (Ribó, 2003).

**Tabla 34.** Valores de macronutrientes en alcachofa en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
1999	Alcachofa	3,03	0,51	3,38	0,25
2000	Alcachofa	2,81	0,33	2,08	0,23
2001	Alcachofa	2,29	0,26	2,15	0,17
2002 (5°)	Alcachofa	3,38	0,26	3,35	0,28
2003 (6°)	Alcachofa	3,19	0,35	1,75	0,26
2004 (7°)	Alcachofa	2,31	0,25	3,36	0,18
2005 (8°)	Alcachofa	3,01	0,95*	2,82	0,48*
2005	Alcachofa	2,32	0,31	2,55	0,23
2006	Alcachofa	2,40	0,36	2	0,28
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>2,75</b>	<b>0,33</b>	<b>2,60</b>	<b>0,24</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,43</b>	<b>0,08</b>	<b>0,65</b>	<b>0,04</b>
Sistema integrado (PI)					
1999	Alcachofa	2,74	0,49	3,62	0,27
2000	Alcachofa	2,88	0,33	2,12	0,26
2001	Alcachofa	2,44	0,23	1,96	0,21
2002 (5°)	Alcachofa	2,26	0,24	2,54	0,30
2003 (6°)	Alcachofa	2,70	0,49	1,64	0,25
2004 (7°)	Alcachofa	2,20	0,27	3,45	0,19
2005 (8°)	Alcachofa	3,06	0,85*	2,98	0,48*
2005	Alcachofa	2,75	0,36	2,25	0,23
2006	Alcachofa	2,27	0,32	1,87	0,24
<b>P<sub>(X)</sub></b>		<b>2,59</b>	<b>0,34</b>	<b>2,49</b>	<b>0,24</b>
<b>D. Est.</b>		<b>0,31</b>	<b>0,10</b>	<b>0,71</b>	<b>0,03</b>
<b>Sig. PE vs PI</b>		NS	NS	NS	NS

(X): Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.7. Lechuga

En el cultivo de lechuga, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 6 ciclos de cultivo en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 35. Los valores erráticos detectados fueron: solamente el contenido de potasio en el sistema ecológico del año 2002. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. Los contenidos medios de macronutrientes en los cogollos de lechuga obtenidos en este estudio son concordantes con los encontrados por otros autores (Pomares et al., 2003a; Ribó, 2003), aunque discrepan de los indicados en otro estudio (Fink et al., 1999), en el que se encontró un contenido inferior de magnesio.

**Tabla 35.** Valores de macronutrientes en lechuga en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
1998	Lechuga 1	3,47	0,56	7,82	0,43
1998	Lechuga 2	3,53	0,41	7,05	0,41
1999	Lechuga 1	3,97	0,92	6,25	0,41
1999	Lechuga 2	3,39	0,48	7,20	0,41
2001	Lechuga	4,72	0,48	5,69	0,40
2002 (5°)	Lechuga	4,28	0,62	1,63*	0,45
$P_{(X)}$		<b>3,89</b>	<b>0,58</b>	<b>6,80</b>	<b>0,42</b>
D. Est.		<b>0,53</b>	<b>0,18</b>	<b>0,84</b>	<b>0,02</b>
Sistema integrado (PI)					
1998	Lechuga 1	3,41	0,54	7,51	0,41
1998	Lechuga 2	3,67	0,43	6,68	0,41
1999	Lechuga 1	3,78	0,67	6,91	0,49
1999	Lechuga 2	3,74	0,61	6,92	0,40
2001	Lechuga	4,61	0,58	4,67	0,35
2002 (5°)	Lechuga	4,28	0,60	2,66	0,46
$P_{(X)}$		<b>3,92</b>	<b>0,57</b>	<b>5,89</b>	<b>0,42</b>
D. Est.		<b>0,44</b>	<b>0,08</b>	<b>1,86</b>	<b>0,05</b>
Sig. PE vs PI		NS	NS	NS	NS

(X<sup>\*</sup>): Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.8. Apio

En el cultivo de apio, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 2 años en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 36. No se descartó ninguno valor en los dos sistemas. Y al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestar diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. Los contenidos medios de macronutrientes en la cosecha comercial del apio obtenidos en este trabajo son discrepantes respecto a los encontrados por otros autores (Pomares et al., 2003a; Ribó, 2003).

**Tabla 36.** Valores de macronutrientes en apio en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
2003 (6°)	Apio	2,64	1,55	2,45	0,82
2004 (7°)	Apio	2,32	1,33	2,25	0,80
$P_{(X)}$		<b>2,48</b>	<b>1,89</b>	<b>2,35</b>	<b>0,81</b>
D. Est.		<b>1,19</b>	<b>0,79</b>	<b>0,14</b>	<b>0,01</b>
Sistema integrado (PI)					
2003 (6°)	Apio	2,70	1,58	2,42	0,96
2004 (7°)	Apio	1,82	1,57	2,28	0,76
$P_{(X)}$		<b>2,26</b>	<b>1,995</b>	<b>2,35</b>	<b>0,86</b>
D. Est.		<b>1,19</b>	<b>0,60</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>
Sig. PE vs PI		NS	NS	NS	NS

(X): Valores con asterisco son descartados

## 4.1.7.9. Judía verde

En el cultivo de judía, los resultados del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) obtenidos durante 4 años en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 37. No se descartó ningún valor en ninguno de los dos sistemas. Al realizar el análisis de la varianza se constataron valores medios de nutrientes muy similares en los dos sistemas de producción, sin manifestarse diferencias significativas en ninguno de los nutrientes. Los contenidos medios de macronutrientes en las vainas de judías verdes de este estudio resultaron concordantes

con los obtenidos en otros trabajos (Fink et al., 1999; Pomares et al., 2003a).

**Tabla 37.** Valores de macronutrientes en judía en diferentes campañas en los dos sistemas de producción

Años	Cultivos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio
		(% s.m.s)			
Sistema ecológico (PE)					
1999	Judía	4,01	0,49	3,05	0,35
2000	Judía	3,59	0,49	3,08	0,30
2002	Judía	3,71	0,40	2,62	0,27
2002 (5°)	Judía	2,28	0,34	2,54	0,37
$P_{(x)}$		<b>3,40</b>	<b>0,43</b>	<b>2,82</b>	<b>0,32</b>
D. Est.		<b>0,77</b>	<b>0,07</b>	<b>0,28</b>	<b>0,05</b>
Sistema integrado (PI)					
1999	Judía	4,12	0,51	2,96	0,42
2000	Judía	3,75	0,51	3,34	0,38
2002	Judía	3,71	0,45	2,54	0,28
2002 (5°)	Judía	2,28	0,34	2,54	0,37
$P_{(x)}$		<b>3,47</b>	<b>0,45</b>	<b>2,85</b>	<b>0,36</b>
D. Est.		<b>0,81</b>	<b>0,08</b>	<b>0,38</b>	<b>0,06</b>
Sig. PE vs PI		NS	NS	NS	NS

#### 4.1.8. Extracción de nutrientes originada por los productos cosechados

Los valores de absorción de nutrientes expresados en kilogramos de N, P, K, Mg,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  y MgO por tonelada de producción se indican en la Tabla 38. Estos datos para cada cultivo se han obtenido a partir del contenido medio de materia seca (Tabla 28) y los contenidos de los respectivos nutrientes (Tablas 29 a 37) en los productos cosechados. Puede observarse que los valores de extracción fueron muy similares entre los dos sistemas de producción. En cambio, al comparar los valores entre los diferentes cultivos se pueden apreciar grandes diferencias en la cantidad de macronutrientes contenida por tonelada de producción. Así, en relación al nitrógeno, la extracción osciló desde 4,42 (Eco.)/ 4,86 (Int.) kg N/t en el maíz dulce hasta 1,28 (Eco.)/0,98 (Int.) kg N/t en el cultivo de apio. Respecto al fósforo, la absorción más alta se originó también en el maíz dulce, con 2,71 (Eco.)/3,17 (Int.) kg  $P_2O_5$ /t, y la más baja en la lechuga, 0,49 (Eco.)/0,55 (Int.) kg  $P_2O_5$ /t. En cuanto al potasio, la mayor extracción se dio en la patata, 5,02 (Eco.)/5,29 (Int.) kg  $K_2O$ /t, y la más baja en el apio, 1,57 (Eco.)/1,54 (Int.), kg  $K_2O$ /t. Y respecto al magnesio, los valores extremos

de extracción que se registraron en el sistema ecológico fueron desde 0,56 kg MgO/t en el maíz dulce hasta 0,26 kg MgO/t en la sandía, y en el sistema integrado, desde 0,64 kg MgO/t en judía hasta 0,26 kg MgO/t en la sandía y la coliflor.

Los valores de extracción de macronutrientes obtenidos en este trabajo son bastante similares a los encontrados por otros autores (Fink, 1999; Pomares et al., 2003b; Ribó, 2003).

Las relaciones de equilibrio N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O: MgO obtenidas en los distintos cultivos y en ambos sistemas de producción se muestran en la Tabla 39. De estos valores se infiere que, en general, el contenido de potasio (K<sub>2</sub>O) resultó superior al de nitrógeno (N); en cambio, los de fósforo y magnesio resultaron mucho más bajos que los de nitrógeno (N). Así mismo, se puede observar que tales relaciones de equilibrio varían considerablemente entre los diferentes cultivos.

**Tabla 38.** Extracción de nutrientes por tonelada de producción en diferentes cultivos bajo producción ecológica e integrada

Cultivos	Exportación de nutrientes (kg/t de producción)						
	N	P	K	Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>Sistema ecológico</b>							
Sandía	1,65	0,22	1,54	0,16	0,51	1,85	0,26
Coliflor	2,38	0,36	1,65	0,17	0,83	1,98	0,28
Patata	2,64	0,43	4,19	0,24	0,98	5,02	0,40
Hinojo	1,54	0,28	1,70	0,17	0,64	2,04	0,29
Maíz dulce	4,42	1,18	2,93	0,34	2,71	3,52	0,56
Alcachofa	3,69	0,44	3,49	0,32	1,02	4,19	0,53
Lechuga	1,62	0,21	2,84	0,18	0,49	3,40	0,29
Apio	1,28	0,25	1,31	0,19	0,58	1,57	0,31
Judía	3,30	0,42	2,74	0,31	0,96	3,29	0,52
<b>Sistema integrado</b>							
Sandía	1,79	0,24	1,76	0,16	0,55	2,11	0,26
Coliflor	2,41	0,44	1,71	0,16	1,02	2,05	0,26
Patata	2,67	0,42	4,41	0,25	0,96	5,29	0,41
Hinojo	1,47	0,27	1,72	0,16	0,62	2,07	0,27
Maíz dulce	4,86	1,38	3,11	0,38	3,17	3,73	0,63
Alcachofa	3,49	0,46	3,35	0,32	1,05	4,02	0,54
Lechuga	1,65	0,24	2,49	0,18	0,55	2,98	0,29
Apio	0,98	0,25	1,28	0,17	0,58	1,54	0,29
Judía	3,71	0,48	3,04	0,38	1,11	3,65	0,64

**Tabla 39.** Relación entre N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O: MgO en las cosechas de los diferentes cultivos en los Dos sistemas de producción

Cultivos	Relación N: P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O: MgO							
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /N	K <sub>2</sub> O/N	MgO/N	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /N	K <sub>2</sub> O/N	MgO/N
<b>Sistema ecológico</b>				<b>Sistema integrado</b>				
Sandía	1	0,31	1,12	0,16	1	0,31	1,18	0,15
Coliflor	1	0,35	0,83	0,12	1	0,42	0,85	0,11
Patata	1	0,37	1,90	0,15	1	0,36	1,98	0,15
Hinojo	1	0,42	1,32	0,19	1	0,42	1,41	0,18
Maíz dulce	1	0,61	0,80	0,13	1	0,65	0,77	0,13
Alcachofa	1	0,28	1,14	0,14	1	0,30	1,15	0,15
Lechuga	1	0,30	2,10	0,18	1	0,33	1,81	0,18
Apio	1	0,45	1,23	0,24	1	0,59	1,57	0,30
Judía	1	0,29	1,00	0,16	1	0,30	0,98	0,17

En el sistema ecológico, los valores de la relación P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/N varían entre 0,28 y 0,61, correspondiendo estos valores extremos a los cultivos de alcachofa y maíz dulce, respectivamente. Los valores de la relación K<sub>2</sub>O/N también muestran una gran variabilidad entre cultivos, registrándose los valores extremos en el maíz dulce y la lechuga, con valores de 0,80 y 2,10, respectivamente. Y respecto a los valores de la

relación MgO/N, éstos muestran un rango de variación entre 0,12 y 0,24, correspondiendo estas cifras a los cultivos de coliflor y apio, respectivamente.

En cuanto al efecto del sistema de producción sobre la relación de equilibrio N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O: MgO en los distintos cultivos, los resultados de la Tabla 39 indican valores muy similares en los dos sistemas de producción comparados.

Por otra parte, las extracciones de macronutrientes, expresadas en kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO, originadas por la producción comercial de los diferentes cultivos en el 5º, 6º, 7º y 8º año, se muestran en la Tabla 40. Puede observarse que, en general, la sandía y la patata fueron los cultivos que registraron los mayores valores de absorción, mientras los valores más bajos correspondieron a la judía verde y alcachofa.

Respecto a la variación de la absorción de nutrientes por el conjunto de los cultivos integrantes de la rotación, se observan diferencias apreciables entre los cuatro años estudiados, correspondiendo la mayor absorción a los años 2002 y 2003, y la más baja al año 2004 (Tabla 40).

Al comparar los valores medios de absorción por cultivos en ambos sistemas productivos, se infiere una escasa diferencia entre ambos. Así, en el sistema integrado se obtuvieron unas absorciones de macronutrientes algo más altas que en el sistema ecológico, con diferencias de +4, +5, +15 y +2 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO por hectárea, respectivamente.

Las exportaciones de macronutrientes, expresadas en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y MgO, originadas por los destríos de los diferentes cultivos en el 5º, 6º, 7º y 8º año se muestran en la Tabla 41. En los cultivos: sombreados en esta tabla, los restos no fueron retirados de las parcelas, por lo que en el cálculo de la extracción de los nutrientes contenidos en los destríos se consideraron únicamente los destríos de los restantes cultivos patata, alcachofa e hinojo. Puede observarse que la alcachofa fue el cultivo que registró los mayores valores de extracción de macronutrientes.

#### ***4.1.9. Balances simplificados de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio)***

Los balances de macronutrientes a nivel de finca o parcela son indicadores de gran utilidad para la evaluación de la sostenibilidad ambiental de los agroecosistemas. Y pueden, así mismo, constituir una herramienta de gran interés en el diseño y corrección de los programas de fertilización orientados hacia un aprovechamiento eficiente de los fertilizantes tanto orgánicos como minerales (Parris, 1998; Haraldsen et al., 2000; Smith et al., 2000; Vos y Putten, 2000; Oenema et al., 2003; Halberg et al., 2005).

A tenor de la dificultad para obtener datos fiables sobre la contribución de algunos procesos de entradas o salidas de nutrientes en los sistemas comparados en este trabajo, se ha optado por el cálculo de los balances simplificados, considerando como entradas: a) las aportaciones de nutrientes con los productos fertilizantes (Tabla 42), y b) las aportaciones de nutrientes realizadas con el agua de riego (Tabla 43), que fueron obtenidas a partir de las dosis de riego (Tabla 8) y los correspondientes análisis de agua (Tabla 2). Y como salidas, se han contabilizado las exportaciones de nutrientes originadas con los productos cosechados y retirados de las parcelas (producción comercial más destrío, en los casos en que éste se haya retirado de las parcelas) (Tablas 40 y 41).

**Tabla 40.** Extracción de macronutrientes originada por la producción comercial de los cultivos en el 5°, 6°, 7° y 8° año en los dos sistemas de producción (ecológico, E e integrado, I)

Cultivos	(kg ha <sup>-1</sup> )							
	N (E)	N (I)	P2O5 (E)	P2O5 (I)	K2O (E)	K2O (I)	MgO (E)	MgO (I)
<b>5° año (2002)</b>								
Sandía	170	151	52	46	190	169	27	24
Coliflor	76	67	26	23	63	56	9	8
Patata	154	158	57	59	115	119	23	24
Hinojo	59	57	25	24	78	76	11	11
Maíz dulce	71	94	44	57	57	75	9	12
Alcachofa	54	66	15	18	62	75	8	10
Judía	17	31	5	9	17	31	3	5
Lechuga	22	56	7	17	45	118	4	10
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>623</b>	<b>680</b>	<b>231</b>	<b>253</b>	<b>627</b>	<b>719</b>	<b>94</b>	<b>104</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>156</b>	<b>170</b>	<b>58</b>	<b>63</b>	<b>157</b>	<b>180</b>	<b>24</b>	<b>26</b>
<b>6° año (2003)</b>								
Patata	119	135	44	50	90	102	18	21
Hinojo	67	86	28	36	89	114	13	16
Maíz dulce	34	71	21	44	27	57	4	9
Alcachofa	109	102	30	28	123	116	16	15
Apio	81	103	37	47	99	126	20	25
Sandía	132	142	41	44	149	159	21	22
Coliflor	63	58	22	20	53	48	7	7
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>605</b>	<b>697</b>	<b>223</b>	<b>269</b>	<b>630</b>	<b>722</b>	<b>99</b>	<b>115</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>151</b>	<b>174</b>	<b>56</b>	<b>67</b>	<b>158</b>	<b>181</b>	<b>25</b>	<b>29</b>
<b>7° año (2004)</b>								
Maíz dulce	75	91	46	56	59	72	9	11
Alcachofa	30	35	8	10	34	40	4	5
Apio	100	116	46	53	123	143	24	28
Sandía	156	167	48	51	175	187	25	26
Coliflor	48	51	17	18	40	43	6	6
Patata	68	80	25	30	51	60	10	12
Hinojo	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>477</b>	<b>540</b>	<b>190</b>	<b>218</b>	<b>482</b>	<b>545</b>	<b>78</b>	<b>88</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>119</b>	<b>135</b>	<b>48</b>	<b>55</b>	<b>121</b>	<b>136</b>	<b>20</b>	<b>22</b>
<b>8° año (2005)</b>								
Apio	81	71	37	32	99	87	20	17
Sandía	142	125	44	38	160	140	23	20
Coliflor	82	90	29	31	69	75	10	10
Patata	120	133	45	50	90	100	18	20
Hinojo	68	60	28	25	90	79	13	11
Alcachofa	24	50	7	14	27	57	3	7
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>517</b>	<b>529</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>535</b>	<b>538</b>	<b>87</b>	<b>85</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>129</b>	<b>132</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>22</b>	<b>21</b>
<b>MedioaSist. Cuatro años</b>	<b>139</b>	<b>153</b>	<b>53</b>	<b>58</b>	<b>143</b>	<b>158</b>	<b>23</b>	<b>25</b>

-No recolectado por helada

**Tabla 41.** Extracción de macronutrientes originada por el destrío de los cultivos en el 5°, 6°, 7° y 8° año en dos sistemas de producción (ecológico, E e integrado, I)

Cultivos	(kg ha <sup>-1</sup> )							
	N (E)	N (I)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (E)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (I)	K <sub>2</sub> O (E)	K <sub>2</sub> O (I)	MgO (E)	MgO (I)
<b>5° año (2002)</b>								
Sandía	2	1	1	-	2	1	-	-
Coliflor	6	5	2	2	5	4	1	1
Patata	2	2	1	1	1	1	-	-
Hinojo	3	1	1	1	4	2	-	-
Alcachofa	13	13	3	4	14	15	2	2
Judía	-	-	-	-	-	-	-	-
Lechuga	27	12	8	4	57	25	5	2
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>6° año (2003)</b>								
Patata	11	6	4	2	8	5	2	1
Hinojo	5	3	2	1	7	4	1	1
Maíz dulce	4	6	2	4	3	5	1	1
Alcachofa	9	16	2	4	10	18	1	2
Apio verde	7	4	3	2	8	5	2	1
Sandía	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliflor	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>7° año (2004)</b>								
Maíz dulce	6	4	4	2	5	3	1	-
Alcachofa	13	14	4	4	15	16	2	2
Sandía	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliflor	3	2	1	1	2	1	-	-
Patata	5	3	2	1	4	3	1	1
Hinojo	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>8° año (2005)</b>								
Apio	1	3	1	2	2	4	-	1
Sandía S.	7	4	2	1	8	4	1	1
Coliflor	2	3	1	1	2	2	-	-
Patata	3	3	1	1	2	2	-	-
Hinojo	7		3	3	9	9	1	1
Alcachofa	1	4	-	2	1	5	-	1
<b>Exp<sub>(total)</sub></b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Med. Sist.</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
<b>Medio Sist.</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Cuatro años</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Tabla 42.** Aportación de macronutrientes con los fertilizantes en los dos sistemas de producción

Año	Fertilizantes	(kg ha <sup>-1</sup> )			
		Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)	Magnesio (MgO)
5° año 2002	Estiércol	Sistema ecológico			
		99	114	159	86
	Ácido fosfórico + Sulfato potásico	Sistema integrado			
		-	143	308	-
6° año 2003	Estiércol	Sistema ecológico			
		132	138	188	98
	Ácido fosfórico + Sulfato potásico	Sistema integrado			
		-	138	313	-
7° año 2004	Estiércol	Sistema ecológico			
		132	138	188	98
	Ácido fosfórico + Sulfato potásico	Sistema integrado			
		-	153	315	-
8° año 2005	Estiércol	Sistema ecológico			
		127	129	135	61
	Ácido fosfórico + Sulfato potásico	Sistema integrado			
		-	123	288	-

**Tabla 43.** Aportación de elementos fertilizantes con el agua de riego de los dos sistemas de producción

Cultivos	Aporte con el agua (UF ha <sup>-1</sup> )					
	Ecológico			Integrado		
	N	K <sub>2</sub> O	MgO	N	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>5° año (2002)</b>						
San día	81	8	171	83	8	176
Coliflor	225	22	479	220	22	467
Patata	162	16	345	151	15	320
Hinojo	192	19	409	201	20	426
Maíz	91	9	194	129	13	273
Alcachofa	226	22	480	336	33	715
Judía	83	8	177	210	21	445
Lechuga	293	29	623	278	27	591
<b>Total rotación</b>	<b>1061</b>	<b>104</b>	<b>2255</b>	<b>1328</b>	<b>130</b>	<b>2823</b>
<b>Media sist./año</b>	<b>265</b>	<b>26</b>	<b>564</b>	<b>332</b>	<b>33</b>	<b>706</b>
Cultivos	Aporte con el agua (UF ha <sup>-1</sup> )					
	Ecológico			Integrado		
	N	K <sub>2</sub> O	MgO	N	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>6° año (2003)</b>						
Patata	137	13	292	139	14	296
Hinojo	190	19	403	190	19	404
Maíz	76	8	163	91	9	192
Alcachofa	248	24	527	231	23	491
Apio	303	30	644	304	30	647
Sandía	150	15	319	150	15	318
Coliflor	200	20	424	183	18	390
<b>Total rotación</b>	<b>1304</b>	<b>129</b>	<b>2772</b>	<b>1288</b>	<b>128</b>	<b>2738</b>
<b>Media sist./año</b>	<b>326</b>	<b>32</b>	<b>693</b>	<b>322</b>	<b>32</b>	<b>685</b>
Cultivos	Aporte con el agua (UF ha <sup>-1</sup> )					
	Ecológico			Integrado		
	N	K <sub>2</sub> O	MgO	N	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>7° año (2004)</b>						
Maíz dulce	147	14	313	165	16	352
Alcachofa	500	49	1062	496	49	1054
Apio	508	50	1080	521	51	1108
Sandía	145	14	308	147	14	311
Coliflor	235	23	500	237	23	504
Patata	151	15	322	160	16	339
Hinojo	174	17	370	170	17	362
<b>Total rotación</b>	<b>1860</b>	<b>182</b>	<b>3955</b>	<b>1896</b>	<b>186</b>	<b>4030</b>
<b>Media sist./año</b>	<b>465</b>	<b>46</b>	<b>989</b>	<b>474</b>	<b>47</b>	<b>1008</b>
Cultivos	Aporte con el agua (UF ha <sup>-1</sup> )					
	Ecológico			Integrado		
	N	K <sub>2</sub> O	MgO	N	K <sub>2</sub> O	MgO
<b>8° año (2005)</b>						
Apio	336	33	714	343	34	728
Sandía	218	21	462	224	22	476
Coliflor	244	24	518	246	24	523
Patata	194	19	412	193	19	409
Hinojo	167	16	354	174	17	370
Alcachofa	336	33	714	372	37	791
<b>Total rotación</b>	<b>1495</b>	<b>146</b>	<b>3174</b>	<b>1552</b>	<b>153</b>	<b>3297</b>
<b>Media sist./año</b>	<b>374</b>	<b>37</b>	<b>794</b>	<b>388</b>	<b>38</b>	<b>824</b>

#### 4.1.9.1. Balance de nitrógeno

Los resultados correspondientes al balance de nitrógeno obtenidos en los dos sistemas comparados (ecológico e integrado) durante los cuatro años del estudio se muestran en la Tabla 44. En relación a las aportaciones de nitrógeno, se observa que en el sistema ecológico los valores resultantes fueron más altos (480 kg N/ha de media) que en el sistema integrado (379 kg N/ha de media), debido a que los cultivos manejados con técnicas de producción integrada no recibieron ningún tipo de fertilizante nitrogenado, ya que el nitrógeno contenido en el agua de riego se consideró suficiente para cubrir las necesidades de los cultivos; en cambio, en el sistema ecológico se realizó una aplicación bienal de estiércol. Y respecto a las extracciones (salidas) de nitrógeno de los sistemas (ecológico e integrado), éstas fueron similares, 144 y 157 kg N/ha en el sistema ecológico (frente a 91 kg N/ha en el integrado), respectivamente. Así pues, se obtuvo un excedente de nitrógeno en ambos sistemas de manejo, con importantes fluctuaciones según el año, pero manteniéndose el mismo patrón de variación (superávit en el sistema ecológico > superávit en el sistema integrado), y siendo la diferencia media de los 4 años estudiados de 114 kg N/ha, cifra que resulta bastante próxima a la aportación media de nitrógeno derivada del estiércol aplicado en el sistema ecológico (123 kg N/ha).

Los resultados encontrados en la bibliografía sobre el balance de nitrógeno, indican una gran variabilidad en los mismos, pudiéndose encontrar valores desde un superávit próximo a 1000 kg N/año en algunos trabajos (Gómez, 2001; Poudel et al., 2001) hasta valores cercanos a cero (Haraldsen et al., 2000), pasando por valores intermedios de superávit (100-200 kg N/año) en otros casos (Pomares et al., 2002a). Los valores de superávit de nitrógeno obtenidos en nuestro trabajo, aunque se encuentran en la zona central del rango de variación constatado en la bibliografía, revisten un alto potencial de contaminación ambiental. Y dado, además, que la fuente principal de nitrógeno en los dos sistemas de cultivo de este trabajo es el nitrato del

agua de riego, hace difícil la posibilidad de reducir el excedente de nitrógeno en estos sistemas de producción. Por otro lado, la sustitución del estiércol en el sistema ecológico por una fertilización fosfo-potásica a base de productos minerales podría reducir el excedente de nitrógeno, pero tal medida impediría la aportación de materia orgánica exógena al sistema, con los subsiguientes efectos negativos en el mantenimiento o mejora de la calidad del suelo en el referido agroecosistema.

**Tabla 44.** Balance de nitrógeno durante el 5º, 6º, 7º y 8º año en los dos sistemas de producción

Parámetros	5º año	6º año	7º año	8º año	Media	Desviación estándar
	UF (N)/ha					
<b>Sistema ecológico</b>						
Aportación con el estiércol	99	132	132	127	123	15,84
Aportación con el agua de riego	265	326	465	374	357	84,35
<b>Total aportaciones</b>	<b>364</b>	<b>458</b>	<b>597</b>	<b>500</b>	<b>480</b>	<b>96,66</b>
Exportación con la producción comercial	156	151	119	129	139	17,96
Exportación con el destrío	5	6	5	3	5	1,26
Exportación con la cosecha	<b>161</b>	<b>157</b>	<b>124</b>	<b>132</b>	<b>144</b>	<b>18,59</b>
<b>Balance</b>	<b>203</b>	<b>301</b>	<b>473</b>	<b>368</b>	<b>336</b>	<b>113,98</b>
<b>Sistema integrado</b>						
Aportación con el agua de riego	<b>332</b>	<b>322</b>	<b>474</b>	<b>388</b>	<b>379</b>	<b>69,68</b>
Exportación con la producción comercial	170	174	135	132	153	22,32
Exportación con el destrío	4	6	2	4	4	1,63
Exportación con la cosecha	<b>174</b>	<b>180</b>	<b>137</b>	<b>136</b>	<b>157</b>	<b>23,51</b>
<b>Balance</b>	<b>158</b>	<b>142</b>	<b>337</b>	<b>252</b>	<b>222</b>	<b>90,59</b>

#### 4.1.9.2. Balance de fósforo

Los resultados registrados en el balance de fósforo correspondientes a los cuatro años del estudio se muestran en la Tabla 45. Puede observarse que tanto las aportaciones (entradas) como las extracciones (salidas) resultaron muy similares en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado), tanto en cada una de las campañas como en el valor medio de los cuatro años. Asimismo, el excedente medio de fósforo fue de 73 y 78 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/año en el sistema ecológico e integrado, respectivamente. Y tales excedentes representan un 58% y 55% del fósforo aportado en ambos sistemas de producción.

Los valores del balance de fósforo encontrados en la bibliografía indican una amplia variabilidad. Así, las cifras halladas oscilan desde un excedente de 150-200 kg  $P_2O_5$ /ha/año (Gómez, 2001) hasta un déficit de -14 y -18 kg  $P_2O_5$ /ha/año, pasando por unos valores de superávit de 25-30 kg  $P_2O_5$ /ha/año (Pomares et al., 2002b).

Los excedentes de fósforo obtenidos en este trabajo se encuentran, al igual que lo observado con el balance de nitrógeno, en la posición intermedia del rango de variación encontrado en la bibliografía. No obstante, parece conveniente disminuir las aportaciones de fósforo en los dos sistemas de producción con la finalidad de reducir los excedentes generados hasta valores próximos a cero, situación de balance equilibrado de fósforo (aportaciones = extracciones). En cualquier caso, y a tenor de la posibilidad de que los fertilizantes fosforados sufran una fijación o retrogradación en formas no asimilables por los cultivos, puede ser conveniente mantener un excedente ligeramente positivo.

**Tabla 45.** Balance de fósforo durante el 5º, 6º, 7º y 8º año en los dos sistemas de producción

Parámetros	5º año	6º año	7º año	8º año	Media	Desviación estándar
	UF( $P_2O_5$ )/ha					
<b>Sistema ecológico</b>						
Aportación con el estiércol	<b>114</b>	<b>138</b>	<b>138</b>	<b>129</b>	<b>130</b>	<b>11,32</b>
Exportación con la producción comercial	58	56	48	48	53	4,35
Exportación con el destrío	1	2	2	1	2	0,58
Exportación con la cosecha	<b>59</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>59</b>	<b>55</b>	<b>4,11</b>
<i>Balance</i>	<b>55</b>	<b>80</b>	<b>88</b>	<b>70</b>	<b>73</b>	<b>14,06</b>
<b>Sistema integrado</b>						
Aportación con la fertilización	<b>143</b>	<b>138</b>	<b>153</b>	<b>123</b>	<b>139</b>	<b>14,72</b>
Exportación con la producción comercial	63	67	55	48	58	5,32
Exportación con el destrío	2	2	1	2	2	0,50
Exportación con la cosecha	<b>65</b>	<b>69</b>	<b>56</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>5,69</b>
<i>Balance</i>	<b>78</b>	<b>69</b>	<b>97</b>	<b>63</b>	<b>78</b>	<b>16,50</b>

#### 4.1.9.3. Balance de potasio

Los resultados correspondientes al balance de potasio en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado) durante los cuatro años estudiados se presentan en la Tabla 46. Tales resultados indican que las aportaciones (entradas) de potasio fueron

mucho más bajas en el sistema ecológico (desde 172 hasta 234 kg K<sub>2</sub>O/ha/año) que en el sistema integrado (desde 326 hasta 361 kg K<sub>2</sub>O/ha/año). Y en cuanto a las extracciones (salidas) originadas con la producción comercial más la producción de destrío resultó algo más baja en el sistema ecológico (entre 126 y 164 kg K<sub>2</sub>O/ha/año) que en el sistema integrado (entre 139 y 188 kg K<sub>2</sub>O/ha/año). De ahí que se produjera un excedente de potasio en ambos sistemas de producción, que resultó más bajo en el sistema ecológico que en el sistema integrado, con valores medios de excedente de potasio de 56 y 180 kg K<sub>2</sub>O/ha/año, respectivamente.

La bibliografía revisada muestra que los valores del balance de potasio encontrados por diferentes autores son bastante variables, pudiendo encontrarse desde cifras altamente negativas, -112 kg K<sub>2</sub>O/ha/año (Haraldsen et al., 2000) y -212 kg K<sub>2</sub>O/ha/año (Pomares et al., 2002b), hasta cifras bastante positivas 100-350 kg K<sub>2</sub>O/ha/año (Gómez, 2001). Así pues, cabe indicar que los excedentes de potasio obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del rango de variación constatado en la bibliografía. No obstante, los excedentes obtenidos, dada su magnitud, deberían reducirse, particularmente en el sistema integrado, para lo cual sería conveniente disminuir las dosis de fertilización potásica aportadas en los cultivos integrantes de las respectivas rotaciones, hasta lograr una fertilización potásica equilibrada (aportaciones = exportaciones).

**Tabla 46.** Balance de potasio durante el 5°, 6°, 7° y 8° año en los dos sistemas de producción

Parámetros	5° año	6° año	7° año	8° año	Media	Desviación estándar
	UF(K <sub>2</sub> O)/ha					
<b>Sistema ecológico</b>						
Aportación con el estiércol	159	188	188	135	168	25,62
Aportación con el agua de riego	26	32	46	37	35	8,46
<b>Total aportaciones</b>	<b>185</b>	<b>220</b>	<b>234</b>	<b>172</b>	<b>203</b>	<b>29,07</b>
Exportación con la producción comercial	157	158	121	134	143	17,25
Exportación con el destrío	5	6	5	3	5	1,26
Exportación con la cosecha	<b>162</b>	<b>164</b>	<b>126</b>	<b>137</b>	<b>147</b>	<b>17,62</b>
<b>Balance</b>	<b>23</b>	<b>56</b>	<b>108</b>	<b>35</b>	<b>56</b>	<b>39,42</b>
<b>Sistema integrado</b>						
Aportación con la fertilización	308	313	315	288	306	12,36
Aportación con el agua de riego	33	32	47	38	37	8,42
<b>Total aportaciones</b>	<b>341</b>	<b>345</b>	<b>361</b>	<b>326</b>	<b>343</b>	<b>10,81</b>
Exportación con la producción comercial	180	181	136	135	158	21,33
Exportación con el destrío	5	7	5	4	5	1,26
Exportación con la cosecha	<b>185</b>	<b>188</b>	<b>141</b>	<b>139</b>	<b>163</b>	<b>21,98</b>
<b>Balance</b>	<b>156</b>	<b>157</b>	<b>220</b>	<b>187</b>	<b>180</b>	<b>29,99</b>

#### 4.1.9.4. Balance de magnesio

En la Tabla 47 se indican los resultados del balance de magnesio obtenidos en los dos sistemas de producción (ecológico e integrado) a lo largo del periodo de estudio. Puede observarse que en el sistema ecológico las aportaciones de magnesio resultaron, en general algo más altas que en el sistema integrado, debido al magnesio contenido en el fertilizante orgánico (estiércol), registrándose cifras entre 650 y 1087 kg MgO/ha/año en el sistema ecológico, y entre 684 y 1007 kg MgO/ha/año en el sistema integrado. Y respecto a las extracciones (salidas) de magnesio, éstas resultaron bastante similares en ambos sistemas de producción, entre 21 y 26 kg MgO/ha/año en el sistema ecológico, y entre 22 y 30 Kg MgO/ha/año en el sistema integrado. De ahí que se obtuvieran unos balances de magnesio altamente positivos: 822 y 780 kg MgO/ha/año en el sistema ecológico e integrado, respectivamente, causados principalmente por el alto contenido de magnesio registrado en el agua de riego.

Así pues, y al igual que en el caso de los excedentes de nitrógeno, la posibilidad de reducir el excedente de magnesio es escasa debido a la dificultad existente en la referida finca para obtener otra clase de agua con menor contenido de magnesio.

**Tabla 47.** Balance de magnesio durante el 5º, 6º, 7º y 8º año en los dos sistemas de producción

Parámetros	5º año	6º año	7º año	8º año	Media	Desviación estándar
	UF(MgO)/ha					
<b>Sistema ecológico</b>						
Aportación con el estiércol	86	98	98	61	86	17,44
Aportación con el agua de riego	564	693	989	794	760	179,35
<b>Total aportaciones</b>	<b>650</b>	<b>791</b>	<b>1087</b>	<b>855</b>	<b>846</b>	<b>182,21</b>
Exportación con la producción comercial	24	25	20	22	23	1,83
Exportación con el destrió	1	1	1	0	1	0,50
Exportación con la cosecha	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>1,71</b>
<b>Balance</b>	<b>625</b>	<b>765</b>	<b>1066</b>	<b>833</b>	<b>822</b>	<b>182,14</b>
<b>Sistema integrado</b>						
Aportación con el agua de riego	<b>706</b>	<b>684</b>	<b>1007</b>	<b>825</b>	<b>806</b>	<b>147,92</b>
Exportación con la producción comercial	26	29	22	21	25	2,71
Exportación con el destrió	1	1	1	1	1	0,00
Exportación con la cosecha	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>2,87</b>
<b>Balance</b>	<b>679</b>	<b>654</b>	<b>984</b>	<b>803</b>	<b>780</b>	<b>149,54</b>

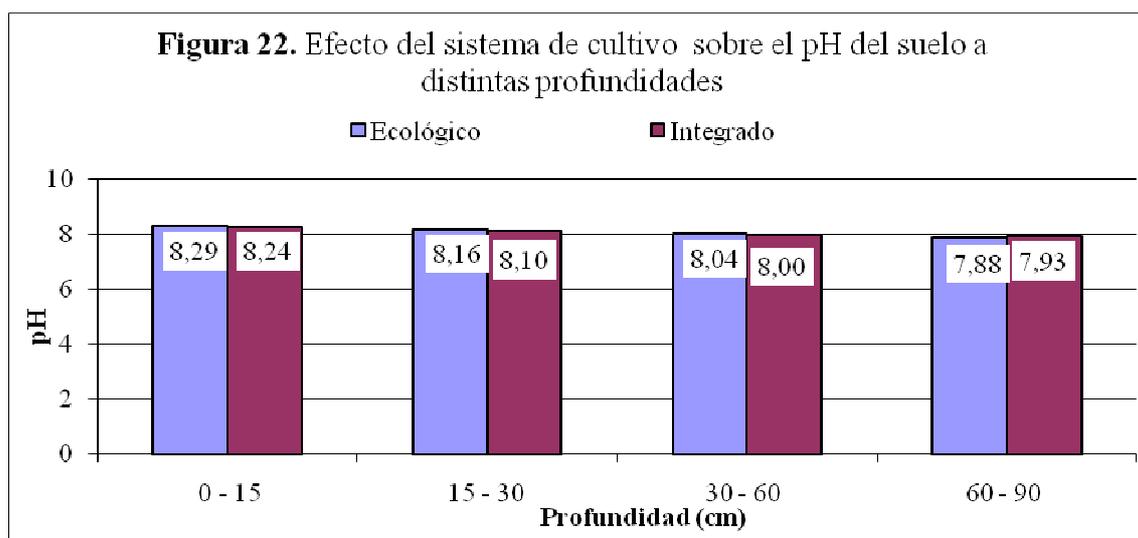
#### 4.1.10. Efectos del sistema de cultivo sobre las características físico-químicas del suelo

##### 4.1.10.1. pH

En la Figura 22 se muestran los resultados del pH a distintas profundidades del suelo después de 8 años de experiencia. Puede observarse que el pH del suelo no se vio afectado de forma significativa por la modalidad de producción, aunque en el sistema ecológico se registraron unos valores ligeramente más altos de pH en las tres capas superiores del perfil del suelo. Así mismo, se constató una tendencia a disminuir el pH a medida que aumentó la profundidad de la capa muestreada, reduciendo el pH medio desde 8,27 hasta 7,90 en las capas 0-15 cm y 60-90 cm, respectivamente. El pH del suelo en la capa 0-30 cm que fue la muestreada al inicio del proyecto, se modificó poco durante los años de experiencia.

Al aportar productos orgánicos (estiércol, compost, etc.) a los suelos agrícolas cabe esperar la manifestación tanto de procesos de acidificación como de alcalinización. Entre los primeros se pueden indicar: a) la liberación de dióxido de carbono y su posterior conversión en ácido carbónico, b) la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno nítrico, y c) los compuestos orgánicos de reacción ácida, presentes en la enmienda o producidos en el suelo. Y los procesos alcalinizantes son originados, principalmente, por los cationes aportados con la enmienda, o los cationes solubilizados a partir de los minerales del suelo. Los resultados obtenidos en este estudio indican que en el sistema ecológico los procesos alcalinizantes sobrepasaron ligeramente a los acidificantes. Algunos autores obtuvieron también valores de pH más básicos en suelos sometidos a manejo ecológico (Clark et al., 1998; Liebig y Doran, 1999; Bulluck et al., 2002; Quenum et al., 2008a); en cambio, en otros trabajos (Haraldsen et al., 2000; Gösling y sheperd, 2005) se encontraron resultados opuestos.

Por otra parte, podemos señalar que, aunque los valores de pH encontrados (8,2-8,3) en la capa superior de los dos sistemas de producción comparados resultaron algo superiores a los niveles de pH considerados óptimos para las especies hortícolas implantadas (Maynard y Hochmuth, 1997), a tenor de los rendimientos obtenidos en este estudio se infiere que tales niveles de pH resultan perfectamente tolerables por los referidos cultivos en las condiciones edafo-climáticas de la Comunidad Valenciana.



#### 4.1.I0.2. Conductividad eléctrica

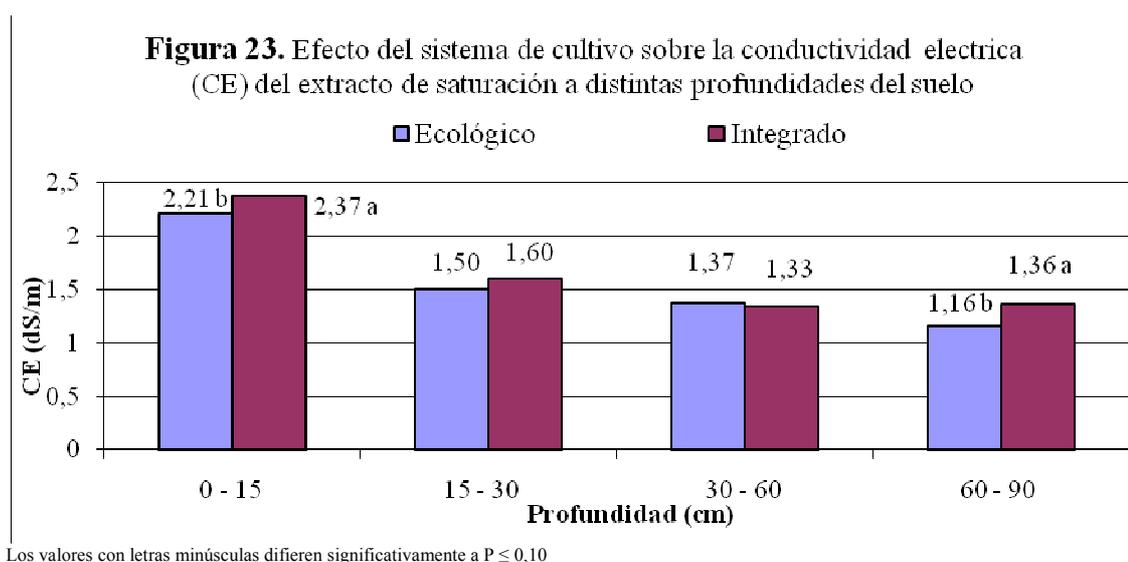
Los resultados de conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación del suelo se muestran en la Figura 23. Al contrario de lo encontrado en el pH, los resultados de CE sí que presentaron diferencias significativas entre los dos sistemas, tanto en la capa superior (0-15 cm) como en la más profunda (60 -90 cm), registrándose una mayor salinidad en los suelos bajo producción integrada frente a los gestionados de forma ecológica, en los que se aportó únicamente abono orgánico como fertilizante.

Los resultados de CE obtenidos muestran una aparente contradicción con los valores de pH comentados anteriormente, que mostraron una cierta evidencia del predominio de los procesos de alcalinización en el suelo de las subparcelas ecológicas, lo que debería haberse reflejado en un cierto aumento de la CE en el sistema ecológico, pero los resultados muestran el efecto opuesto. Como posible explicación de estos resultados aparentemente contradictorios puede señalarse un posible aumento de la capacidad de infiltración del agua en el suelo propiciada por las sustancias húmicas derivadas del abono orgánico aplicado.

Por otra parte, debe señalarse que a tenor del rango de CE obtenido en la capa superior (2,2-2,4 dS/m) de los referidos suelos, éstos pueden catalogarse como no-

salinos, con valores de salinidad que previsiblemente serán tolerables por los cultivos implantados en este estudio (Maynard y Hochmuth, 1997; Quenum et al., 2008a).

Finalmente, es reseñable el hecho constatado de una progresiva disminución de la CE a medida que aumentó la profundidad del perfil. Así, en el sistema ecológico la CE mostró un rango de variación de 2,21 a 1,16 dS/m, mientras que en el sistema integrado los valores de CE oscilaron entre 2,37 y 1,36 dS/m, en las capas 0-15 cm y 60-90 cm, respectivamente.



#### 4.1.11. Efectos del sistema de cultivo sobre las características químicas del suelo

##### 4.1.11.1. Materia orgánica

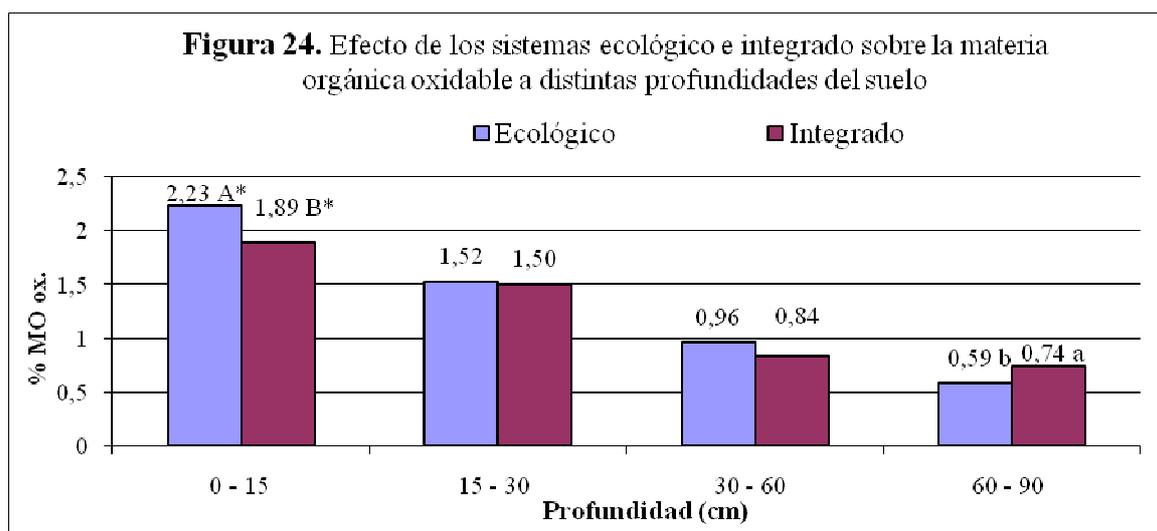
Los valores de materia orgánica que se presentan en este trabajo se han obtenido a partir de los valores de carbono orgánico oxidable, haciendo uso del factor de van Bemmelen 1,724 (Saña et al., 1996), que resulta al considerar que la materia orgánica del suelo presenta un contenido de carbono del 58%. Estos valores de materia orgánica incluyen la mayoría de los componentes orgánicos del suelo: la biomasa microbiana, la materia orgánica fresca, los compuestos intermedios, y la materia orgánica humificada, correspondiendo la mayor proporción a esta última.

En la Figura 24 se muestran los resultados de materia orgánica obtenidos en las respectivas capas del suelo muestreadas. Puede observarse que en las tres primeras profundidades del perfil del suelo el sistema ecológico registró mayor contenido de materia orgánica que el sistema integrado, con significación altamente estadística en la capa 0-15 cm; en cambio, en la capa de suelo más profunda (60-90 cm), el patrón de variación fue justo el opuesto.

Por otra parte, al comparar el contenido de materia orgánica desde el año 2000 (Ribó, 2003) hasta el año 2006 y (Quenum et al., 2008a), cabe indicar que en la capa 0-30 cm dicho contenido se ha mantenido sin apenas variación en los sistemas de producción (en el ecológico pasó de 1,87% en el año 2000 a 1,87% en el año 2006, y en el integrado de 1,69% en el año 2000 a 1,72% en el año 2006).

Estos resultados ponen de manifiesto que el aumento de materia orgánica registrado en la capa 0-15 cm en el sistema ecológico respecto al sistema integrado refleja el efecto derivado del aporte bienal de estiércol, de forma concordante con lo encontrado por otros autores (Clark et al., 1998; Liebig y Doran, 1999; Gómez, 2001; Pulleman et al., 2003; Pomares et al., 2008). Pero, al comparar los valores de materia orgánica en la capa 0-30 cm, las diferencias entre los dos sistemas quedan reducidas, sin apenas variación en el periodo 2000 a 2006, lo que indica un cierto equilibrio en el balance húmico, entre los procesos de humificación y mineralización.

Y respecto a la idoneidad de estos contenidos de materia orgánica del suelo para los cultivos hortícolas, cabe indicar que resultaron algo inferiores a los considerados óptimos para las condiciones de cultivo de la Comunidad Valenciana (Pomares et al., 2007c); aunque tomando como referencia los niveles óptimos indicados por otros autores (Spring et al., 1993; Yañez, 1989), citados por Saña et al. (1996), los niveles de materia orgánica del suelo se podrían considerar adecuados.

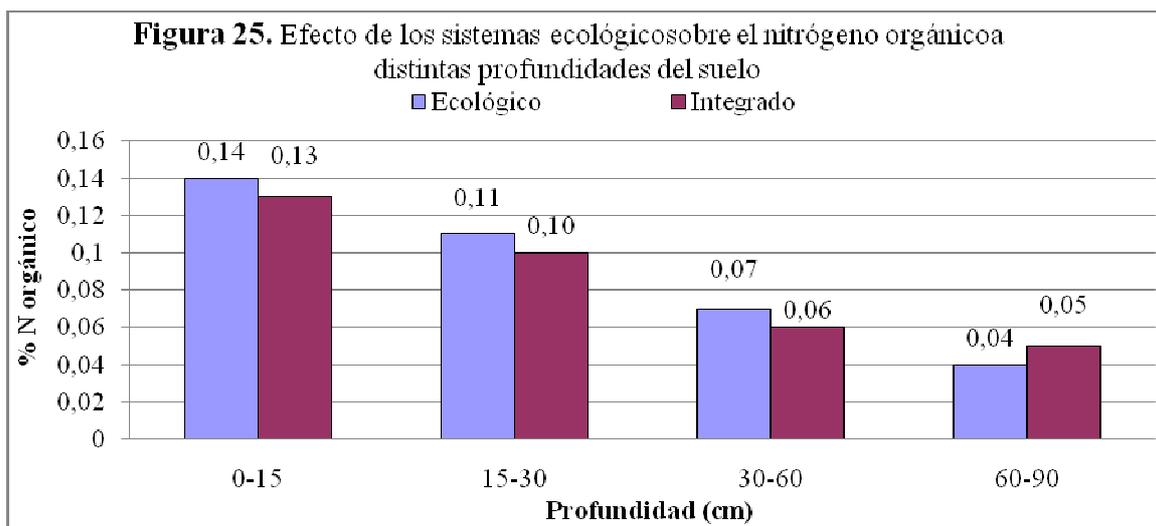


Los valores con letras minúsculas difieren a  $P \leq 0,10$ , y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$

#### 4.1.11.2. Nitrógeno orgánico

Los valores de nitrógeno orgánico presentados en este estudio (Figura 25) corresponden al N-Kjeldahl, que incluye el nitrógeno propiamente orgánico más la fracción de nitrógeno amónico, ya que en el proceso de digestión – destilación se determina tanto el nitrógeno amónico hidrolizado a partir de los compuestos proteicos de la materia orgánica como el nitrógeno amónico de la fracción mineral del suelo, aunque la mayor parte del nitrógeno Kjeldahl corresponde al nitrógeno orgánico.

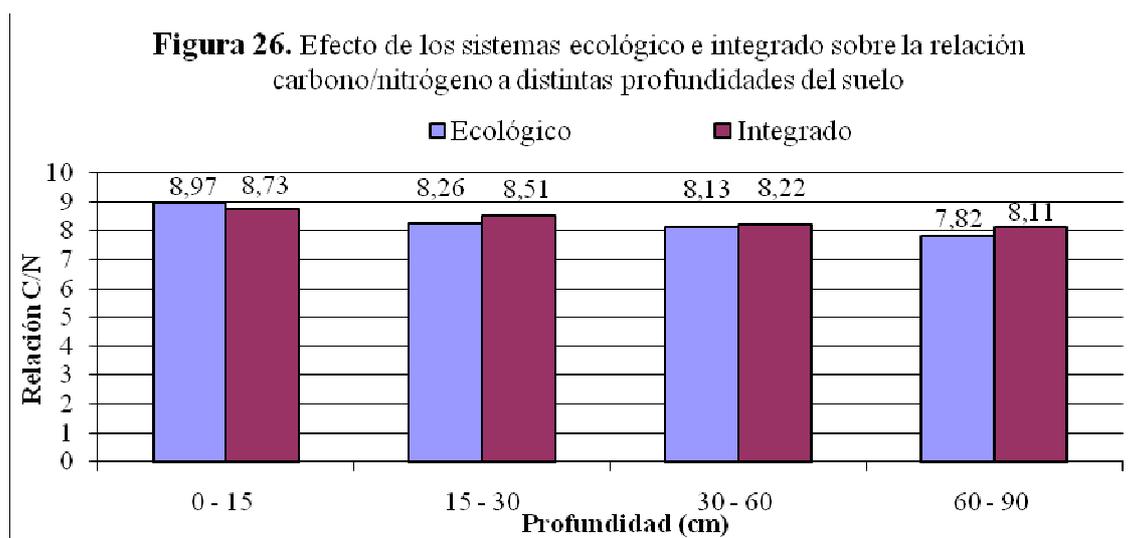
Los valores de nitrógeno orgánico obtenidos en las diferentes muestras de suelo procedentes de los dos sistemas de producción comparados, indican un patrón de variación similar al encontrado en el parámetro materia orgánica. Estos resultados eran esperables, ya que los distintos compuestos nitrogenados de la materia orgánica (proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, etc.) están incluidos en el conjunto global de la materia orgánica del suelo, y por tanto susceptibles de experimentar los procesos que afectan a los compuestos carbonados con una intensidad similar.



#### 4.1.11.3. Relación carbono / nitrógeno (C/N)

La relación existente entre el contenido de carbono y de nitrógeno en la materia orgánica del suelo es un indicador de la fertilidad de dicho suelo, que pone de manifiesto la existencia de alguna circunstancia perturbadora de la actividad microbiana implicada en los procesos de mineralización y humificación, ya que la materia orgánica humificada suele presentar una relación C/N más baja que la de la materia orgánica poco descompuesta. Por lo que se considera conveniente que los valores de la relación C/N sean menores de 10 (Quémener, 1985 y Guigou et al., 1989, citados por Saña et al., 1996).

Los valores de la relación C/N en las distintas capas del suelo muestreadas se presentan en la Figura 26. Puede observarse que los valores encontrados fueron muy similares en los dos sistemas de producción comparados. En todos los casos, la relación C/N se mantuvo en un rango entre 7,8 y 9,0, cifras consideradas adecuadas según los autores citados anteriormente, y que reflejan una buena dinámica de los procesos implicados en el balance de la materia orgánica del suelo.



#### 4.1.11.4. Nitrógeno nítrico

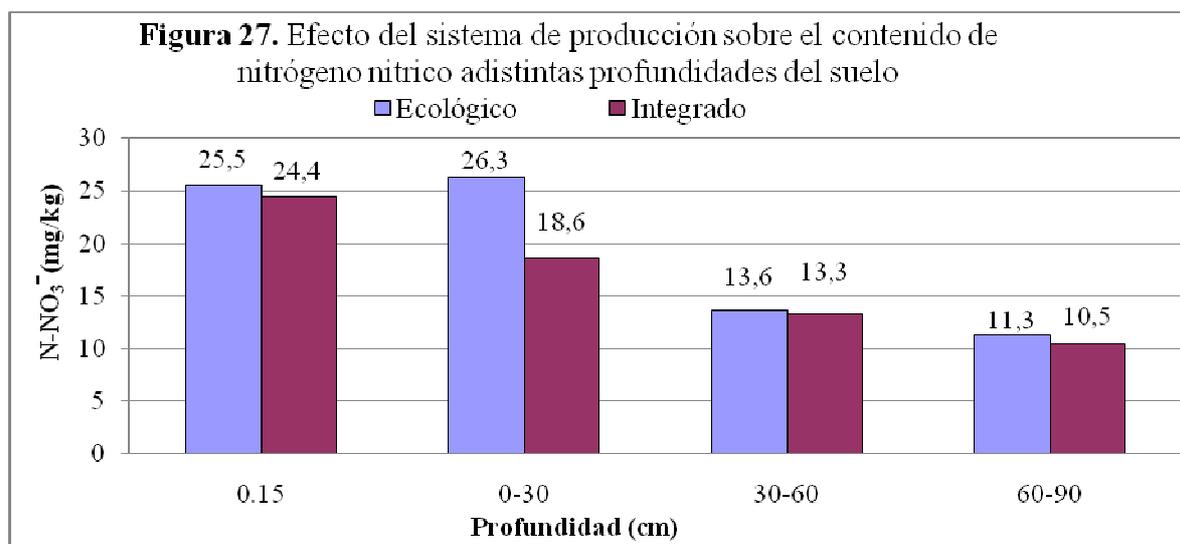
Los resultados correspondientes al contenido de nitrógeno nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) a distintas profundidades del suelo se muestran en la Figura 27. Puede observarse que no se produjeron diferencias significativas entre ambos tipos de manejo (ecológico e integrado) en ninguna de las profundidades estudiadas, aunque en el sistema ecológico se registraron unos niveles de este elemento ligeramente superiores a los encontrados en el sistema integrado. Esto era previsible, ya que en el sistema integrado no se aplicó fertilización nitrogenada debido a que la aplicación de nitrógeno derivado de los nitratos contenidos en el agua de riego permitió cubrir las necesidades nutricionales de los distintos cultivos en las respectivas rotaciones, y, en cambio, en el sistema ecológico se aplicó estiércol de ovino + vacuno bienalmente.

Por otra parte, merece señalarse que el contenido del referido ion nitrato decreció progresivamente a medida que aumentó la profundidad de la capa muestreada, apreciándose un patrón de variación similar al encontrado con la materia orgánica o el nitrógeno orgánico.

En base a los contenidos de nitratos obtenidos en las distintas capas del perfil del suelo, y teniendo en cuenta el peso estimado del suelo de la capa de 0 a 90 cm (10.800.000 kg/ha), resultan unas cantidades de N-mineral de 182 kg N/ha y 163 kg N/ha en los sistemas ecológico e integrado, respectivamente. Al comparar estos

valores de N-mineral con los valores existentes en el año 2000 (Pomares et al., 2002b), que fueron 223 y 252 kg N/ha en los sistemas ecológico e integrado, respectivamente, se aprecian unas disminuciones de N-mineral considerables en los dos sistemas de producción, del 18% y el 35%, respectivamente.

A nivel bibliográfico, el efecto del sistema de producción sobre el riesgo de lixiviación de nitratos ha mostrado resultados contradictorios. Así, algunos autores (Hansen et al., 2000; Korsæth y Eltun, 2000 ; Dalgaard et al., 2002); han encontrado menor lixiviación de nitratos en el sistema ecológico que en el sistema convencional; en cambio, en otras investigaciones (Kristensen et al., 1994) no se constataron diferencias en el nivel de N-mineral lixiviable entre ambos sistemas de producción, e incluso estos últimos autores encontraron que las parcelas convencionales que se habían abonado con estiércol presentaban un mayor riesgo de lixiviación de N-mineral que las parcelas con fertilización mineral. En otro estudio, Gómez (2001; Pomares et al., 2007b) también se obtuvo mayor riesgo de lixiviación de N-mineral en las parcelas de hortalizas abonadas con estiércoles (estiércol de ovino y gallinaza) que en las abonadas con fertilizantes nitrogenados minerales.



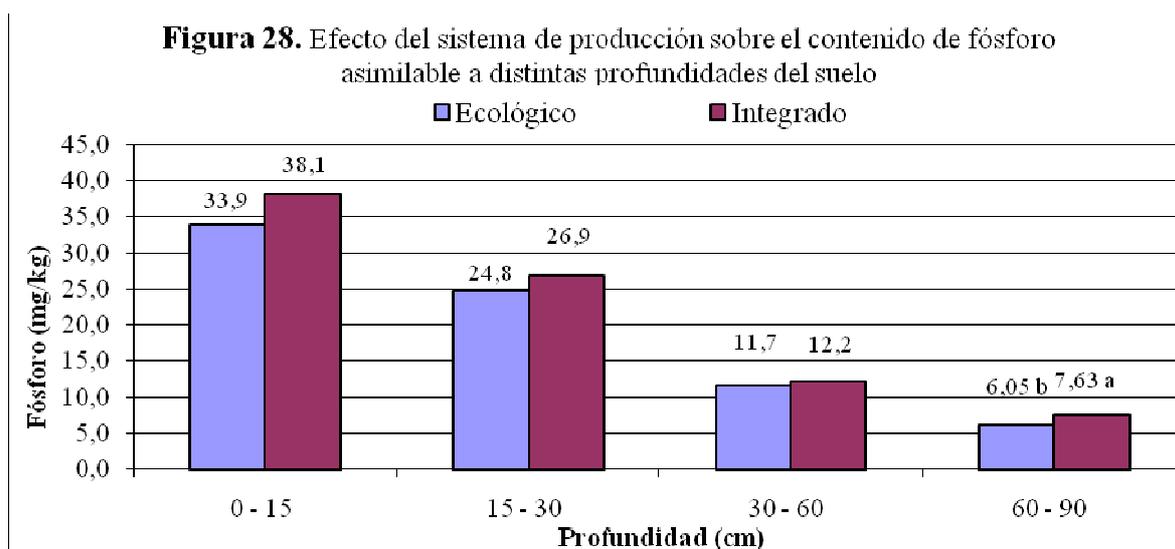
#### 4.1.11.5. Fósforo asimilable

En la Figura 28 se representan los contenidos de fósforo asimilable (método Olsen) en los dos sistemas de producción comparados. Como puede observarse, los niveles de este nutriente resultaron algo más altos en el suelo de las parcelas gestionadas siguiendo las

normas de producción integrada, aunque en ninguna de las profundidades se obtuvieron diferencias significativas, excepto en la capa más profunda, donde sí se encontró significación estadística ( $P \leq 0,10$ ).

Al comparar los contenidos de fósforo obtenidos en este trabajo (29 y 32 mg P/kg en la capa de 0-30 cm en el año 2006 en el sistema ecológico y integrado, respectivamente frente a 87 mg P/kg en ambas parcelas, ecológica e integrada, obtenidos en el año 2000 (Ribó, 2000), podemos constatar que la reserva de fósforo asimilable ha experimentado una disminución considerable en ambos sistemas de producción, aunque se sigue manteniendo en unos niveles de suficiencia para los cultivos hortícolas (35-45 mg P/kg) (Pomares et al., 2007). Así pues, estos resultados ponen de manifiesto que, a pesar de haber obtenido un superávit de fósforo durante los cuatro años de estudio ver la sección 4.1.9.2.), el nivel de fósforo asimilable ha sufrido un marcado descenso. De donde se infiere la conveniencia de que en los suelos de cultivos hortícolas con un nivel normal de fósforo asimilable, las aportaciones de fósforo deben incluir las extracciones de los cultivos y una cierta cantidad adicional que compense las pérdidas inevitables por fijación o retrogradación.

Por otra parte, algunos autores han manifestado que la agricultura ecológica podría generar un agotamiento de las reservas de fósforo asimilable del suelo (Greenland, 2000; Loes y Ogaard, 2001; Oehl et al., 2002; Pomares et al., 2007c) debido a que la fertilización orgánica puede ser deficitaria en dicho nutriente. Este posible riesgo de agotamiento de la capacidad de suministro de fósforo asimilable para las plantas puede presentarse en cualquier sistema de producción (ecológico, integrado, convencional, etc.) cuando las aportaciones de este nutriente al suelo no cubren las salidas derivadas de los productos cosechados y otras vías de pérdida: fijación o retrogradación, erosión, etc.



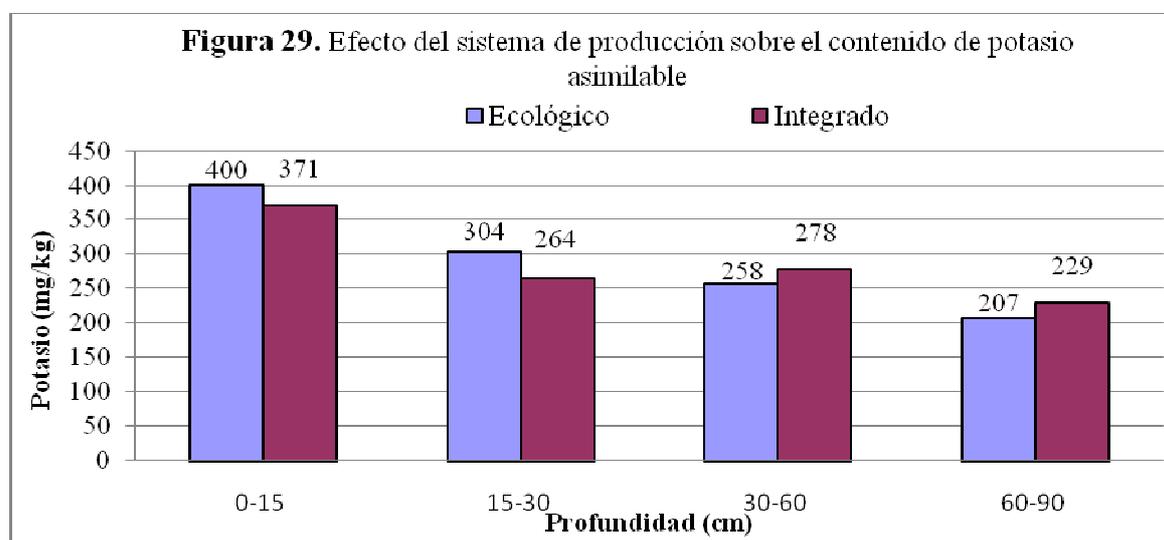
Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,1$

#### 4.1.11.6. Potasio asimilable

El potasio del suelo extraíble con acetato amónico está constituido por la fracción soluble en agua y la intercambiable, y representa el potasio disponible o asimilable por las plantas. En la Figura 29 se muestran los contenidos de este nutriente en las distintas capas del suelo muestreadas. Estos resultados indican que las diferencias entre ambos sistemas de producción (ecológico vs integrado) no resultaron significativas. Así mismo, se apreció una progresiva disminución del nivel de potasio a medida que aumentó la profundidad del perfil del suelo.

La interpretación de los contenidos de potasio disponible obtenidos en este trabajo en el año 2006 en la capa de 0-30 cm de los sistemas ecológico e integrado (352 y 317 mg kg, respectivamente respecto a los valores de referencia (Pomares et al., 2007e), indica un nivel de suficiencia para los cultivos de hortícolas en la Comunidad Valenciana. Pero al comparar estos valores de potasio asimilable en el suelo con los registrados en el año 2000 (350 mg K/kg en el sistema ecológico y 353 mg K/kg en el sistema integrado), según Ribó (2003), se pone de manifiesto que el potasio disponible del suelo en el sistema ecológico se mantuvo en un nivel similar, pero en el sistema integrado experimentó una disminución de 36 mg K/kg. Estos resultados indican que los excedentes registrados en el balance de potasio en el sistema integrado, a pesar de

ser de mayor cuantía que los del sistema ecológico (ver la sección 4.1.9.3.), han resultado insuficientes para lograr la estabilidad del nivel de potasio asimilable en suelo.

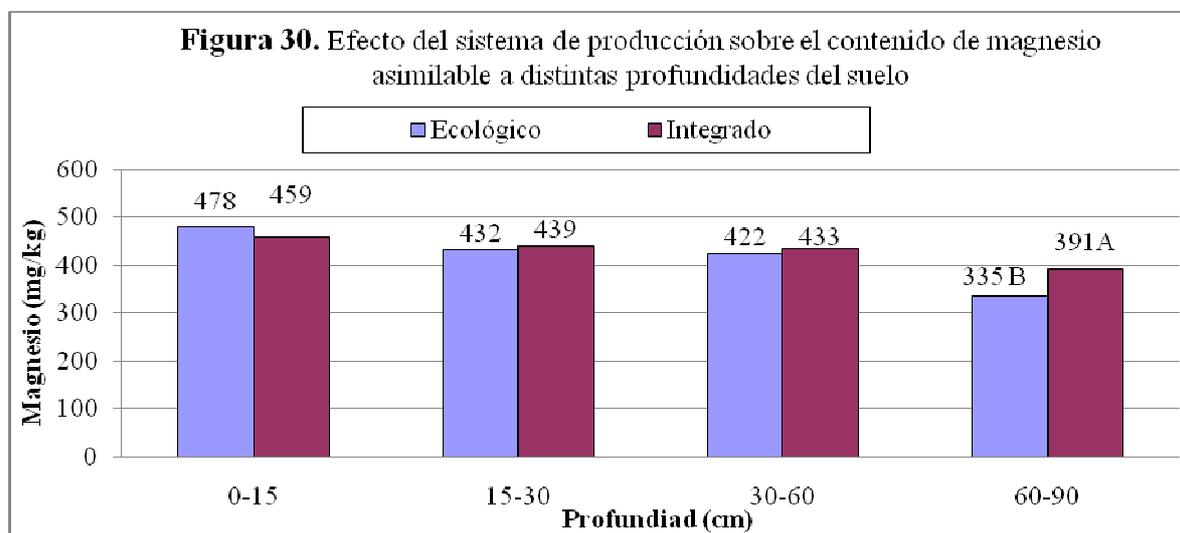


#### 4.1.11.7. Magnesio disponible

Al igual que en el caso del potasio, el magnesio disponible o asimilable se considera que es la fracción de este nutriente extraíble con acetato amónico. Los contenidos resultantes de este elemento en las capas a distintas profundidades del suelo se muestran en la Figura 30. Puede observarse que las diferencias entre ambos sistemas de producción (ecológico vs integrado) no mostraron significación estadística en ninguna de las tres primeras capas, pero en la más profunda (60-90 cm) sí que se constató una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) a favor del sistema integrado.

Al interpretar los contenidos de magnesio disponible obtenidos en este trabajo (455 y 449 mg Mg/kg en la capa de 0-30 cm de los sistemas ecológico e integrado, respectivamente) respecto a los valores de referencia (Pomares et al., 2007d), se constata la presencia de unos niveles muy altos de este nutriente en el suelo. Y al comparar estos valores de magnesio asimilable en el suelo con los encontrados en el año 2000 (361 mg Mg/kg) en los dos sistemas de producción (Ribó, 2003), se infiere un aumento considerable en la fracción asimilable de magnesio, con incrementos de 94

y 88 mg Mg/kg en el sistema ecológico y en el integrado, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los altos valores de superávit registrados en el balance de magnesio, atribuibles en gran medida al alto contenido en magnesio en el agua de riego utilizada.



Los valores con letras mayúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,05$

#### 4.1.11.8. Cationes (sodio, calcio, magnesio y potasio) en el extracto de saturación

La medida del contenido iónico en el extracto de saturación expresa la cantidad de cationes y aniones solubles en agua, que está directamente relacionada con la conductividad eléctrica y con el potencial osmótico del suelo.

Los contenidos de los cationes más relevantes (calcio, magnesio, potasio y sodio) se muestran en la Tabla 48. Puede observarse que el sistema de producción (ecológico vs integrado) tuvo poca influencia en los valores resultantes en las tres primeras capas del suelo (0-15, 15-30, 30-60 cm); en cambio, en la capa más profunda (60-90 cm) se registraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en calcio, potasio y sodio, pero con tendencias opuestas; así, mientras que el mayor contenido de potasio se registró en el sistema ecológico, los contenidos de calcio y sodio más altos se obtuvieron en el sistema integrado.

Al igual que en los restantes nutrientes estudiados, el contenido de los cationes solubles mostró una clara tendencia de disminución progresiva a medida que aumentó la profundidad de la capa del perfil del suelo muestreada.

También es reseñable el hecho de que los niveles de sodio soluble resultantes fueron relativamente bajos, de donde se infiere que el riesgo de sodificación en los suelos de este estudio fue mínimo (Ayers y Westcot, 1987). La secuencia encontrada en base a la concentración de los cationes solubles: calcio > sodio > magnesio > potasio, es bastante normal en los suelos de cultivo de la Comunidad Valenciana.

**Tabla 48.** Efecto del sistema de producción (ecológico e integrado) sobre el contenido de cationes en el extracto de saturación a distintas profundidades del suelo

Sistemas	Ca (meq/L)				K (meq/L)				Mg (meq/L)				Na (meq/L)			
	Profundidad (cm)															
	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90
	Extracto Saturación															
Eco.	6,10	4,08	3,93	3,32a	0,50	0,25	0,14	0,11b	1,64	1,03	0,95	0,71	3,31	2,11	2,15	1,81a
Int.	5,85	4,09	3,72	3,62b	0,62	0,20	0,10	0,06a	1,62	1,05	0,90	0,79	3,54	2,25	2,34	2,06b
ESx	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

ESx: Nivel de significación. NS, \*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,05$ ; respectivamente. Valores sin subíndice común difieren significativamente.

#### 4.1.11.9. Aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) del extracto de saturación

Los contenidos de los aniones solubles en agua, medidos en el extracto de saturación, se indican en la Tabla 49. Tales resultados muestran que, al igual que se constató con los cationes, la influencia del sistema de producción (ecológico vs integrado) ejerció poca influencia en el nivel de los aniones solubles (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) en las tres primeras capas del suelo (0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm), no encontrándose diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los aniones estudiados. No obstante, en la profundidad de 60-90 cm se observó un contenido del ión sulfato significativamente mayor en el sistema integrado. Estos resultados se pueden atribuir a que en el sistema integrado la fertilización potásica se realizó mediante sulfato potásico.

Es bien conocido el efecto potencial de fitotoxicidad que presentan los cloruros del suelo. No obstante, los niveles de este anión encontrados en los suelos de este estudio fueron relativamente bajos, siendo altamente improbable que dichos niveles produjeran efectos de toxicidad en los cultivos hortícolas integrantes de las respectivas rotaciones implantadas (Ayers y Westcot, 1987; Quenum et al., 2008b).

**Tabla 49.** Efectos del sistema de producción (ecológico e integrado) sobre los aniones del extracto de saturación a distintas profundidades del suelo

Sistemas	Cl <sup>-</sup> (meq/L)				SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/L)				CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (meq/L)			
	Profundidad (cm)											
	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90
	extracto de saturación											
Eco.	3,86	1,93	1,66	1,04	6,94	4,83	5,71	5,23 b	3,94	4,49	3,26	1,93
Int.	4,31	2,04	1,47	0,99	6,34	4,66	5,63	6,34 a	3,86	3,94	2,89	2,48
ESx	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS

ESx: Nivel de significación. NS, \*\*: No significativo o significativo a P ≤ 0,05, respectivamente. Valores sin subíndice común difieren significativamente

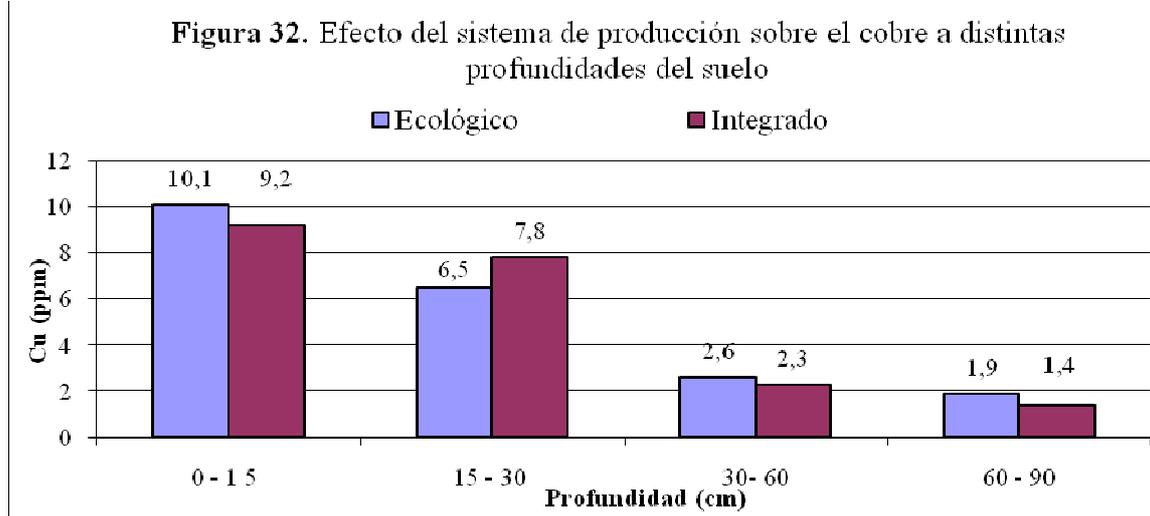
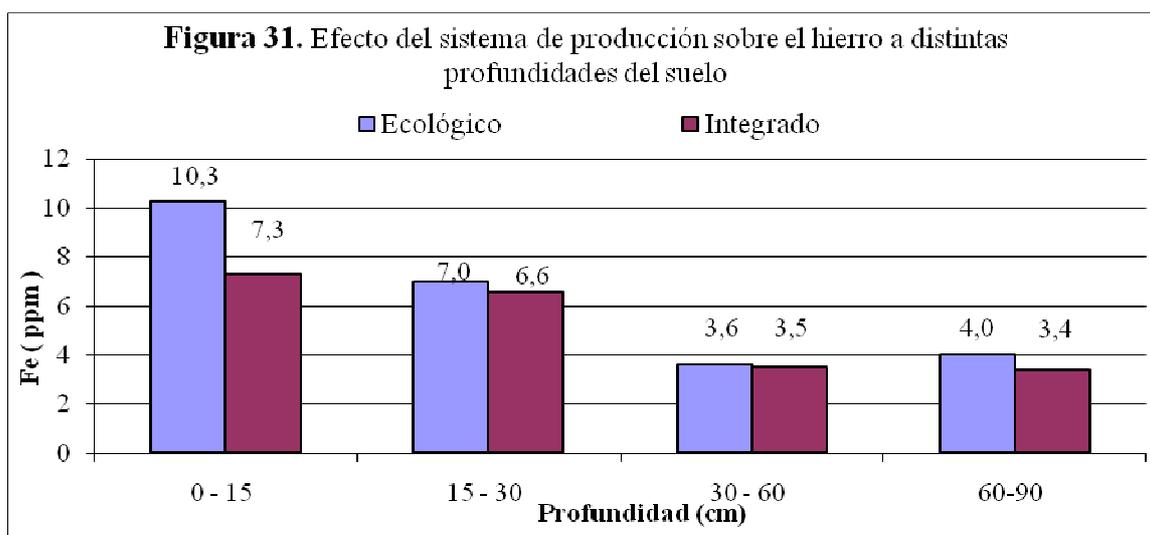
#### 4.1.11.10. Micronutrientes (hierro, cobre, manganeso y cinc) asimilables

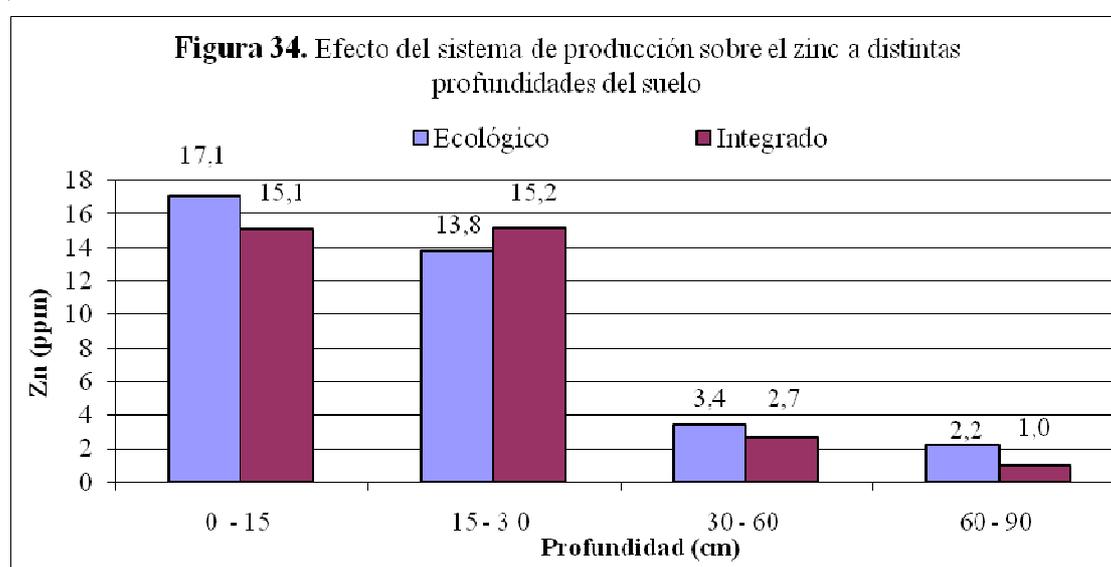
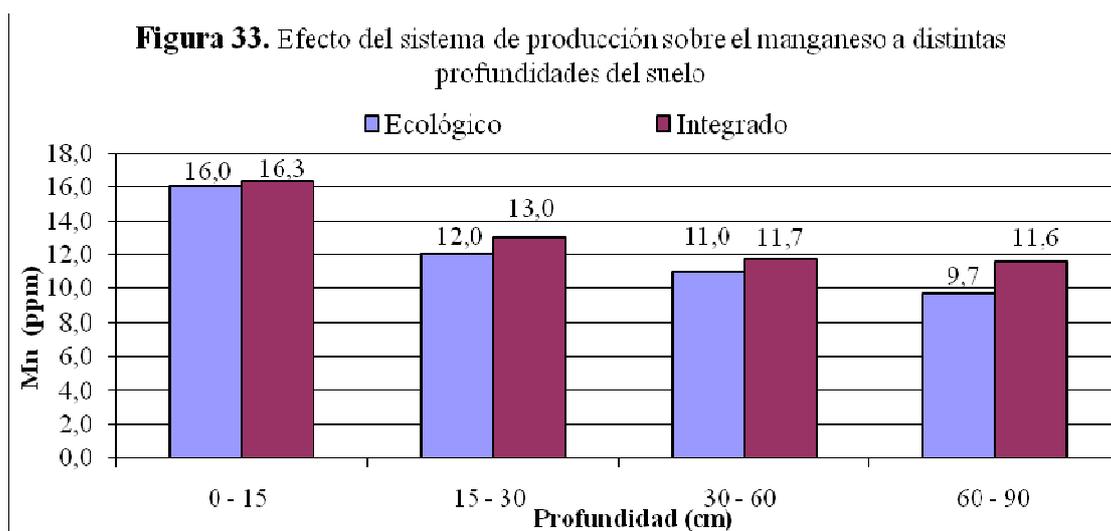
Los contenidos de micronutriente extraíbles con ácido dietilentriamino-pentaacético (DTPA), según el método de Lindsay y Norvell (1969), constituyen un indicador de la disponibilidad de dichos micronutrientes en el suelo, ya que esta fracción está constituida principalmente por los micronutrientes que se presentan en forma quelada y, por tanto, fácilmente absorbible por las plantas (Viets y Lindsay, 1973).

Las Figuras 31, 32, 33 y 34 muestran los contenidos de hierro, cobre, manganeso y cinc asimilables, respectivamente, en función del sistema de cultivo y la profundidad del suelo. Puede observarse que, en general, el efecto del sistema de cultivo (ecológico vs integrado) fue escaso, no encontrándose diferencias significativas en ningún caso, aunque en la capa más superficial (0-15 cm) los niveles del hierro, cobre y cinc en el sistema ecológico resultaron ligeramente más altos que en el sistema integrado, lo cual puede ser atribuible a la fertilización orgánica aplicada en el sistema ecológico. Por otro lado, la variación de los contenidos de los micronutrientes en función de la profundidad del suelo mostró, al igual que en los nutrientes anteriores, una clara tendencia de una progresiva disminución a medida que aumentó la profundidad de la capa muestreada.

Al comparar los niveles de los micronutrientes asimilables con los valores de referencia establecidos por Viets y Lindsay (1973), se infiere que los suelos en ambos sistemas de producción (ecológico e integrado) presentaron una alta disponibilidad de hierro, cobre, manganeso y cinc, siendo poco probable que en los suelos de este estudio se presentasen deficiencias de micronutrientes, lo que ha sido confirmado por los

análisis químicos efectuados en los productos cosechados (datos no presentados).





#### 4.1.12. Efectos del sistema de cultivo sobre las características biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo estudiadas han sido: la biomasa microbiana y dos actividades enzimáticas (fosfatasa alcalina y deshidrogenasa).

##### 4.1.12.1. Biomasa microbiana

La población microbiana está constituida por el conjunto de microorganismos vivos del suelo y representa una fracción activa de la materia orgánica del suelo. De ahí que el carbono de la biomasa microbiana, aunque constituye una fracción relativamente baja en el conjunto de la materia orgánica del suelo, desempeñe un papel de crucial

importancia en los procesos biológicos y bioquímicos del suelo (Skujins, 1976; Nannipieri et al., 1990).

Los resultados de biomasa microbiana, expresados como carbono, en la capa 0-15 cm en los dos sistemas de producción comparados se muestran en la Figura 35. Puede observarse que en el sistema ecológico se obtuvo mayor contenido (+23%) de biomasa microbiana que en el sistema integrado, aunque la diferencia no resultó estadísticamente significativa.

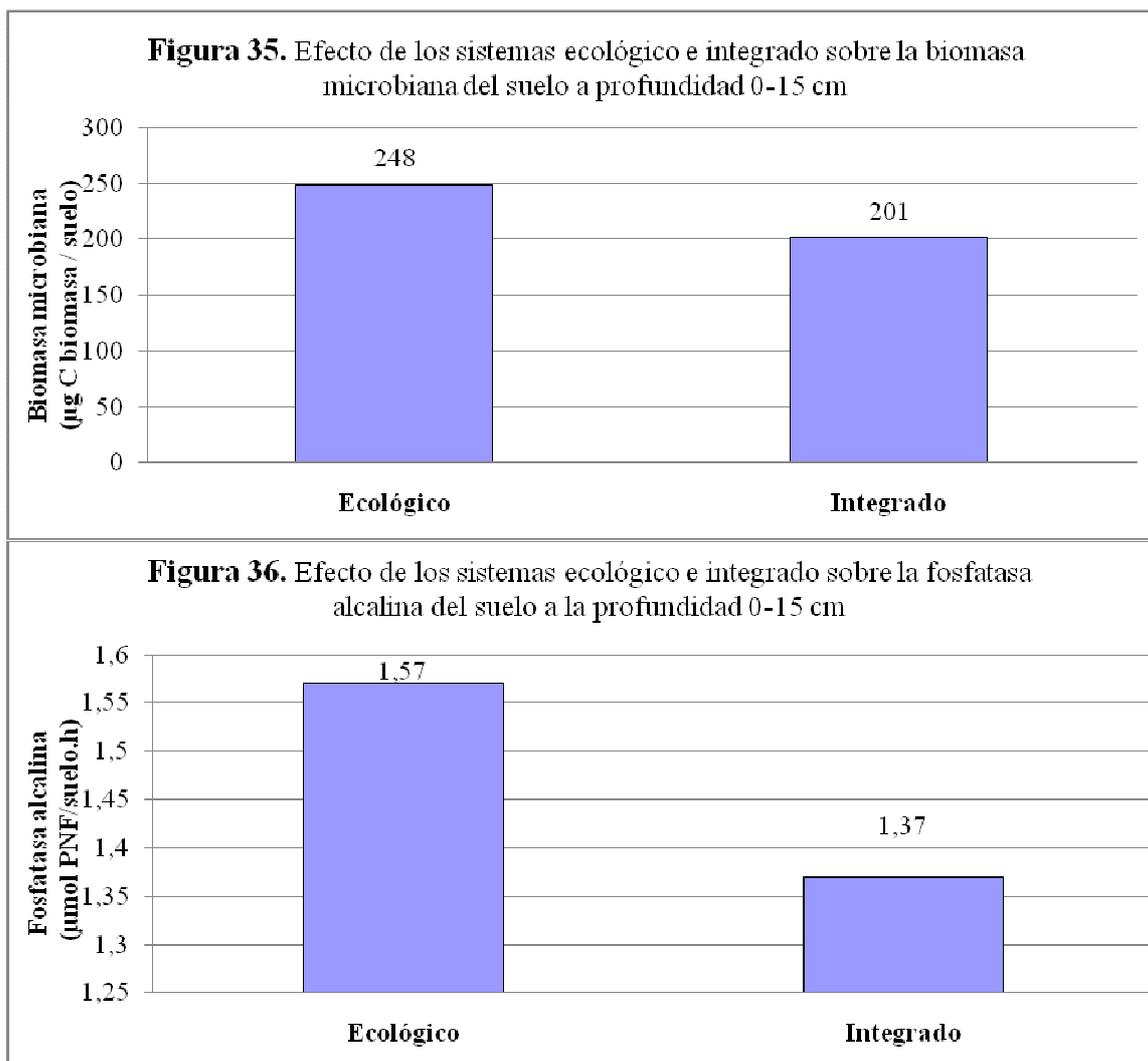
Se pueden encontrar bastantes trabajos (Fließbach et al., 1994; Pascual et al., 1997; Albiach et al., 1999; Albiach et al., 2001; Melero, 2005) en los que se ha constatado que la aplicación de productos orgánicos en la fertilización de los cultivos suele provocar un aumento considerable de la población microbiana, en cuya magnitud influyen distintos factores: dosis y clase de materia orgánica aplicada (como fuente de carbono y energía), composición de la misma, características edafo-climáticas, características del cultivo, etc.

#### 4.1.12.2. Actividad fosfatasa alcalina

Las enzimas fosfatasas del suelo intervienen en el proceso de mineralización del fósforo orgánico, lo que reviste gran importancia en la disponibilidad del fósforo en el suelo y en la nutrición fosforada de los cultivos.

Los resultados de fosfatasa alcalina encontrados en la capa superficial, (0-15 cm), del suelo se indican en la Figura 36. Se puede observar que en el sistema ecológico se obtuvo un mayor nivel (+15%) de actividad fosfatasa que en el sistema integrado, aunque tal diferencia no resultó estadísticamente significativa.

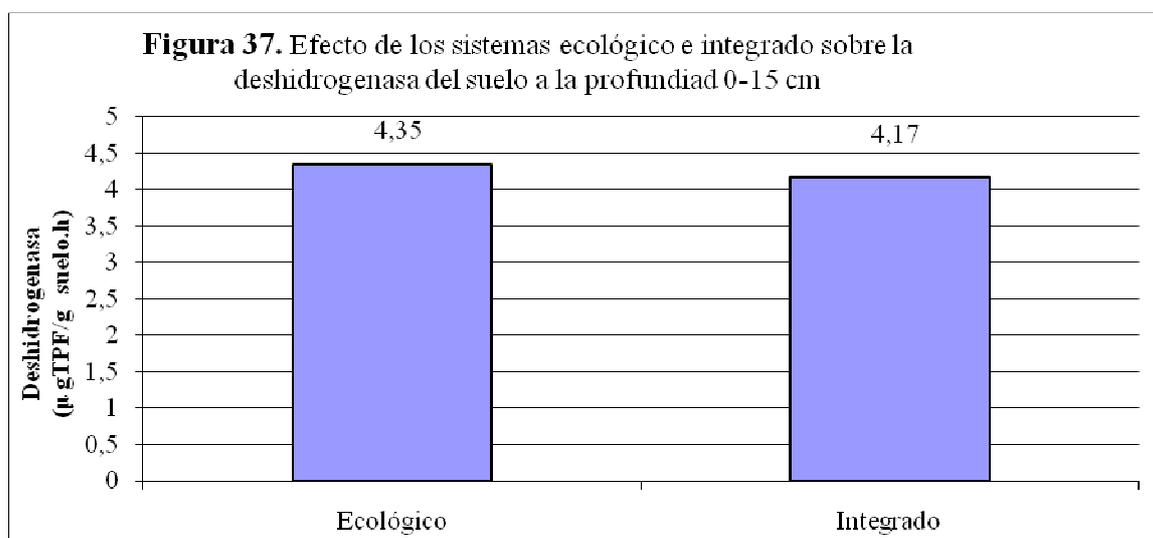
En trabajos realizados por otros autores (Reganold et al., 1987; Albiach et al., 1999; Albiach., 2001; Gómez, 2001; Parham et al., 2002; Melero, 2005; Quenum et al., 2008b) se han citado resultados que demuestran el efecto positivo sobre la fosfatasa alcalina que presenta la producción ecológica (frente a la producción convencional), o bien la aplicación de productos orgánicos en la fertilización de los cultivos.



#### 4.1.12.3. Actividad deshidrogenasa

La enzima deshidrogenasa interviene en los procesos bioquímicos de la descomposición de los compuestos orgánicos, desempeñando por tanto un papel de crucial importancia en el ciclo biogeoquímico del carbono (Skujins, 1976; Nannipieri et al., 1990). En la Figura 37 se muestran los niveles de actividad deshidrogenasa en la capa 0-15 cm del suelo en los dos sistemas de cultivo. Los resultados de esta actividad enzimática muestran un patrón de variación similar al encontrado en los dos parámetros de actividad biológica ya estudiados, es decir, la actividad deshidrogenasa resultó algo superior (+4%) en el sistema ecológico, si bien la diferencia tampoco mostró significación estadística.

El hecho de que en este trabajo, a diferencia de lo encontrado por otros autores (Fließbach et al., 1994; Albiach et al., 1999; Ruiz et al., 2000; Farrus y Vadell, 2000; Albiach et al., 2001; Gomez, 2001; Melero, 2005; Quenum et al., 2008b), no se obtuvieran aumentos significativos en esta actividad enzimática cabe atribuirlo a que la dosis de aplicación de la enmienda orgánica empleada (20 t/ha/2 años) en el sistema ecológico fue relativamente baja. Pero, probablemente en un periodo más largo de tiempo, el efecto de la producción ecológica sobre esta actividad enzimática puede llegar a resultar estadísticamente significativo.



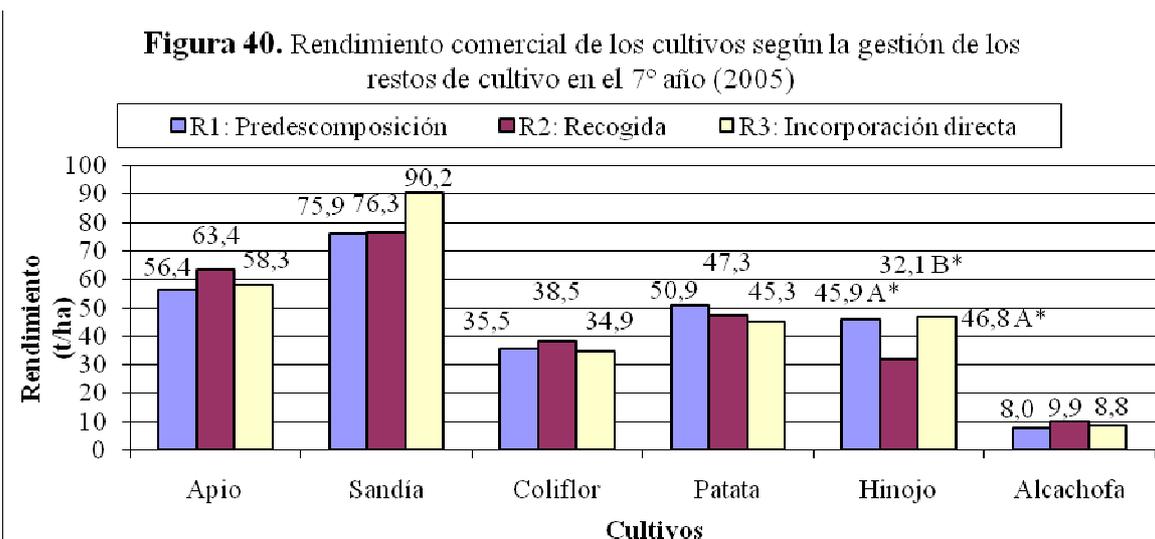
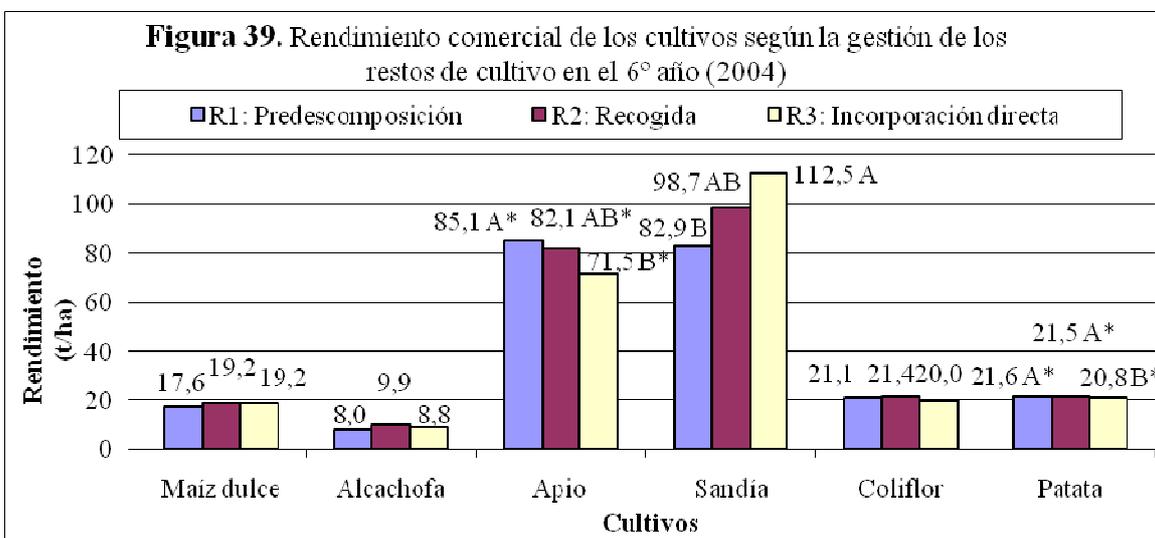
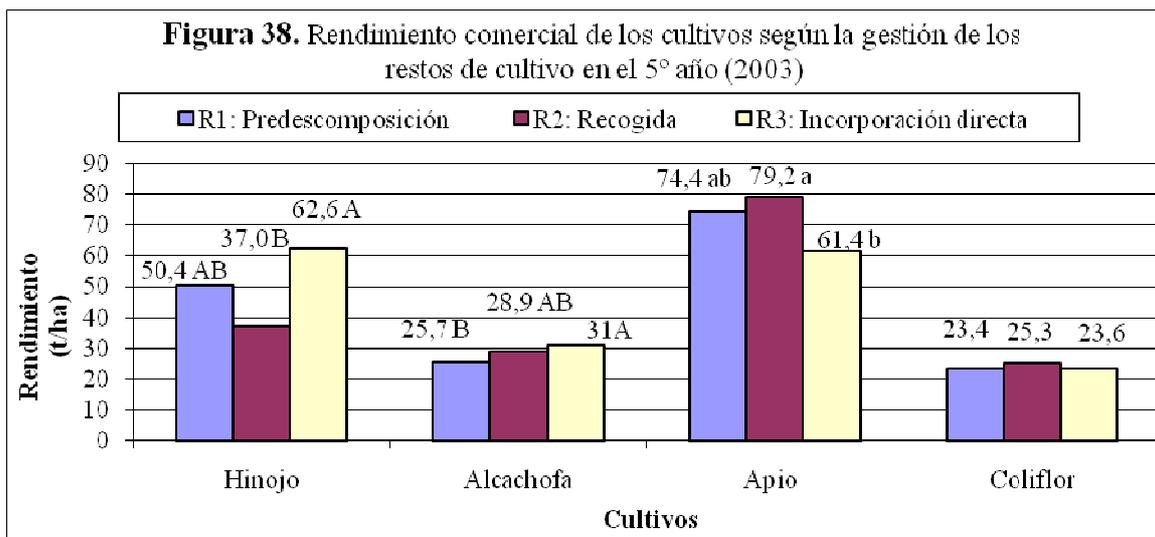
## 4.2. Comparación de las modalidades de gestión de los restos de cultivo

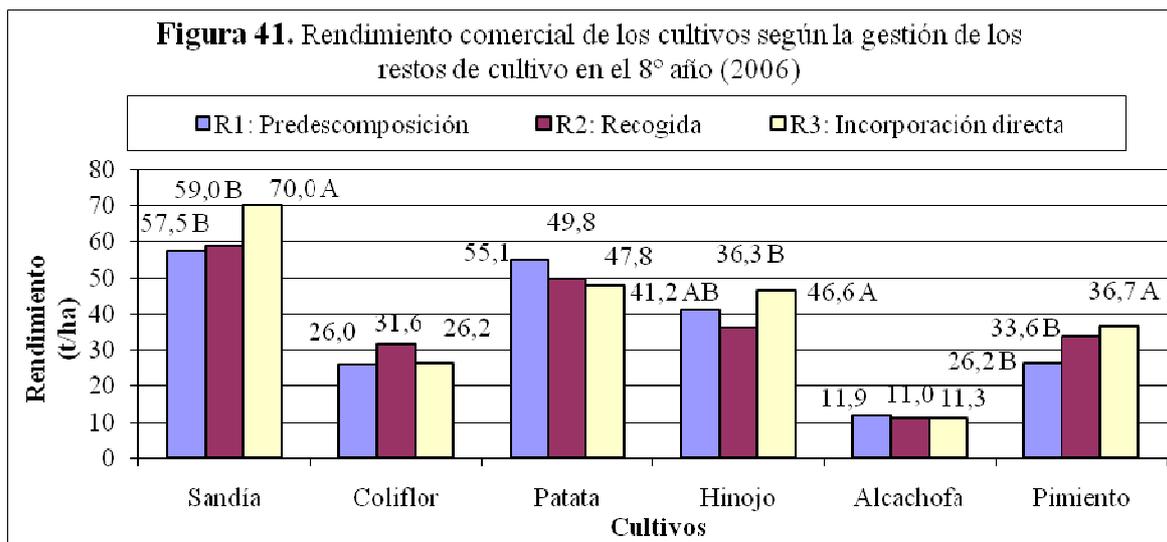
### 4.2.1. Rendimiento comercial

El aprovechamiento de los restos del cultivo precedente, incorporados inmediatamente tras la recolección o bien después de una descomposición parcial en la superficie del suelo, con respecto a la retirada de los mismos de la parcela, provocó una respuesta productiva muy variable en los diferentes cultivos (Figuras 38 a 41). Así, en cuanto al rendimiento comercial, se observaron diferencias significativas en los siguientes cultivos: hinojo (campañas 2003, 2005 y 2006), sandía (campañas 2004 y 2006), apio (campañas 2003 y 2004), patata (campaña 2004), alcachofa (campaña 2003), y pimiento (campaña 2006).

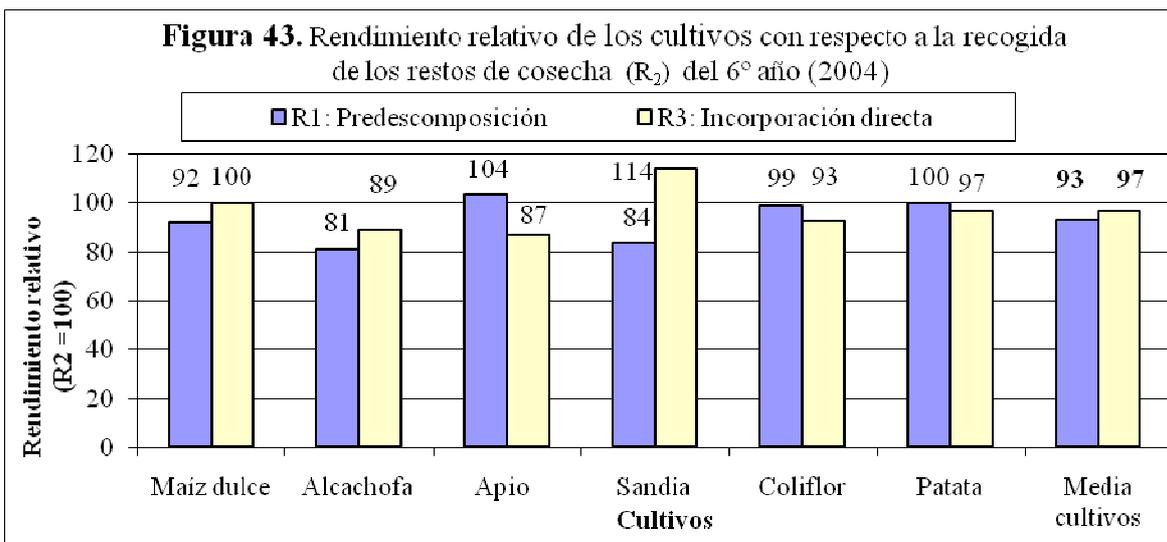
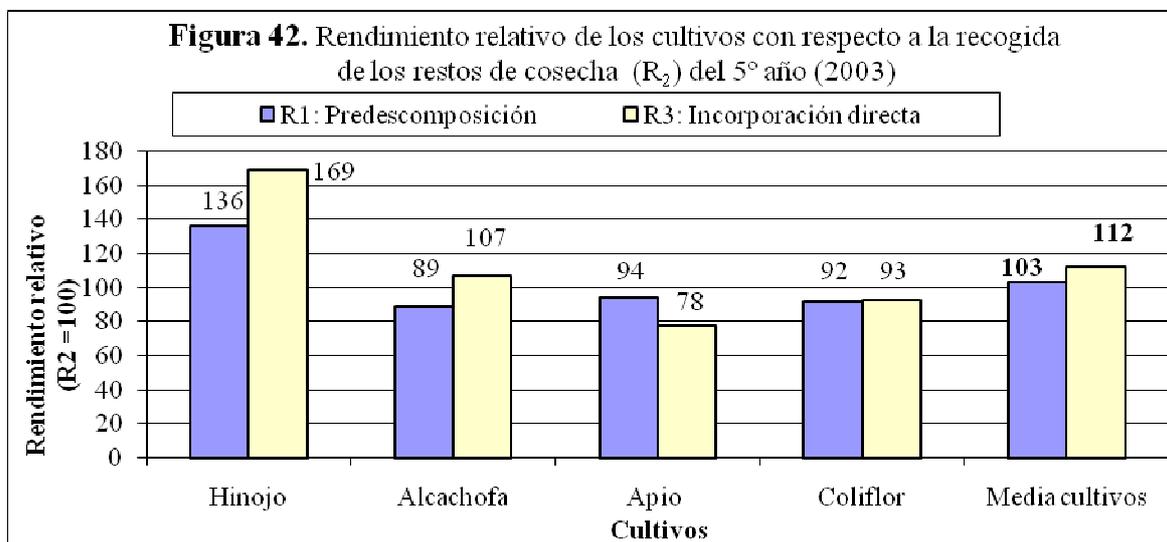
Y respecto a la cuantía de la respuesta de los cultivos en términos de rendimiento relativo, con respecto a la recogida o retirada de los restos de la parcela (tratamiento  $R_2 = 100$ ), los valores obtenidos se muestran en las Figuras 42 a 45, pudiéndose observar el amplio rango de variación en los resultados obtenidos con las dos modalidades de incorporación de la biomasa residual del cultivo precedente.

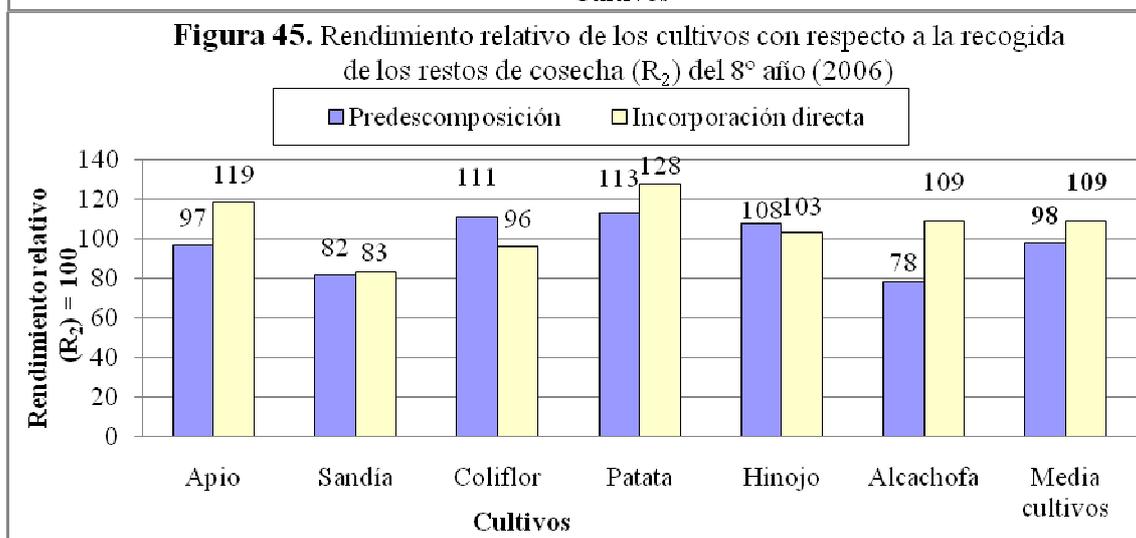
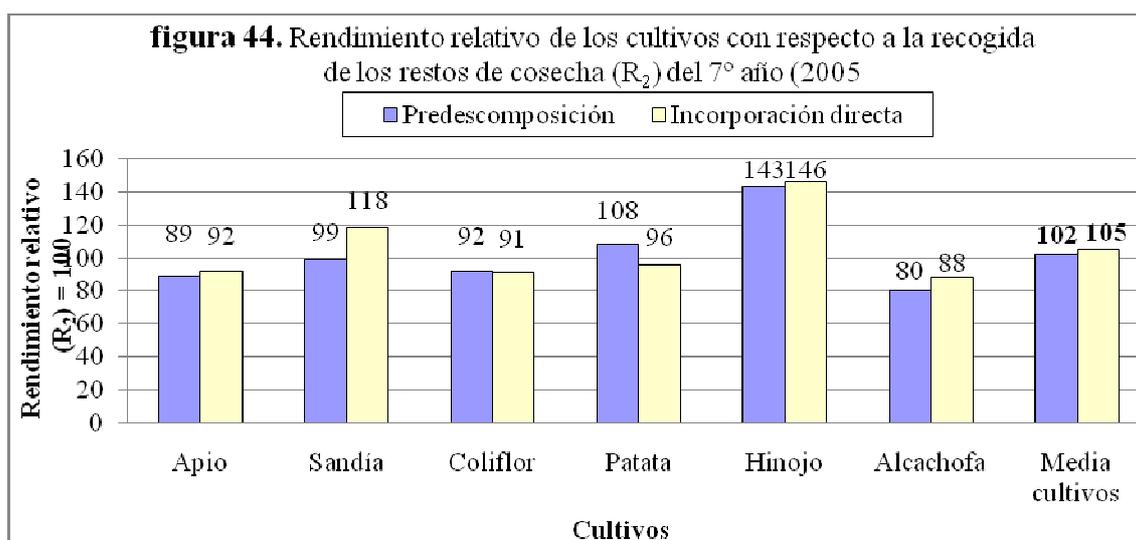
Los valores relativos medios del conjunto de cultivos resultaron ligeramente superiores a 100 con las dos modalidades ( $R_1$  y  $R_3$ ) de incorporación de los restos de cosecha; en los años 2003 y 2005; en cambio, en el año 2004, el valor relativo medio resultó algo inferior a 100 en ambas modalidades ( $R_1$  y  $R_3$ ) de incorporación de la biomasa residual, y en el año 2006, el rendimiento medio fue inferior a 100 con el tratamiento  $R_1$ . Al agrupar los resultados de rendimiento medio por cultivos (Tabla 50) se pudo apreciar que la respuesta de dichos cultivos a la incorporación de los restos de cosecha fue muy variable según la especie cultivada, registrándose la mayor respuesta en el cultivo de hinojo, con rendimientos relativos medios durante las tres campañas de 131 y 148 en los tratamientos  $R_1$  y  $R_3$ , respectivamente, y la peor respuesta en el cultivo de coliflor, con valores de rendimiento relativo medio durante las cuatro campañas de 91 y 90, en los tratamientos  $R_1$  y  $R_3$ , respectivamente. Por otra parte, debe indicarse que el valor medio de rendimiento relativo en el conjunto de cultivos implantados resultó bastante similar en los tres tratamientos de gestión de los restos de cosecha, con cifras de 99, 100 y 104 en los tratamientos  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ , respectivamente.





Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$ , letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$ , y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$





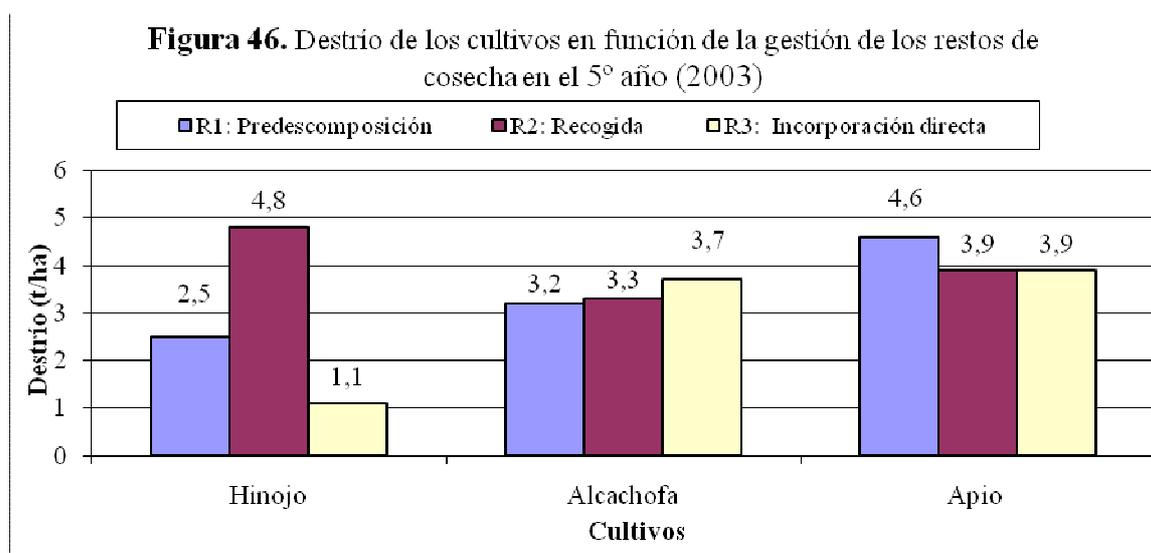
**Tabla 50.** Efecto del tipo de gestión de los restos del cultivo precedente sobre el rendimiento relativo de diferentes hortícolas con respecto a la recogida de la parcela ( $R_2$ )

Cultivos	Año	Rendimiento relativo (Recogida = 100)		
		Predescomposición ( $R_1$ )	Recogida ( $R_2$ )	Incorporación directa ( $R_3$ )
Hinojo	2003	136	100	169
	2005	143	100	146
	2006	113	100	128
<b>Media cultivo</b>		<b>131</b>	<b>100</b>	<b>148</b>
Alcachofa	2003	89	100	107
	2004	81	100	89
	2005	80	100	88
	2006	108	100	103
<b>Media cultivo</b>		<b>89</b>	<b>100</b>	<b>97</b>
Apio	2003	94	100	78
	2004	104	100	87
	2005	89	100	92
<b>Media cultivo</b>		<b>96</b>	<b>100</b>	<b>86</b>
Coliflor	2003	92	100	93
	2004	99	100	93
	2005	92	100	91
	2006	82	100	83
<b>Media cultivo</b>		<b>91</b>	<b>100</b>	<b>90</b>
Sandía	2004	84	100	114
	2005	99	100	118
	2006	97	100	119
<b>Media cultivo</b>		<b>93</b>	<b>100</b>	<b>117</b>
Patata	2004	100	100	97
	2005	108	100	96
	2006	111	100	96
<b>Media cultivo</b>		<b>106</b>	<b>100</b>	<b>96</b>
Maíz dulce	2004	92	100	100
Pimiento	2006	78	100	109
<b>Media cultivo de todos los años</b>		<b>99</b>	<b>100</b>	<b>104</b>
<b>Media cultivo de todos los años excluyendo hinojo</b>		<b>94</b>	<b>100</b>	<b>97</b>

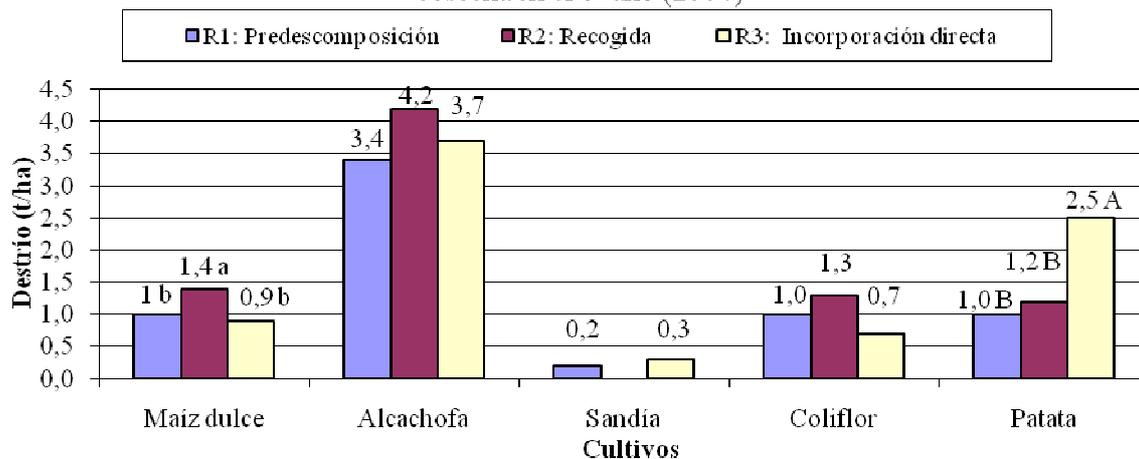
$R_1$  = Predescomposición de restos de cultivo en la superficie del suelo;  $R_2$  = Recogida de restos de cultivo;  $R_3$  = Incorporación directa de restos de cultivo

### 4.2.2. Destrío

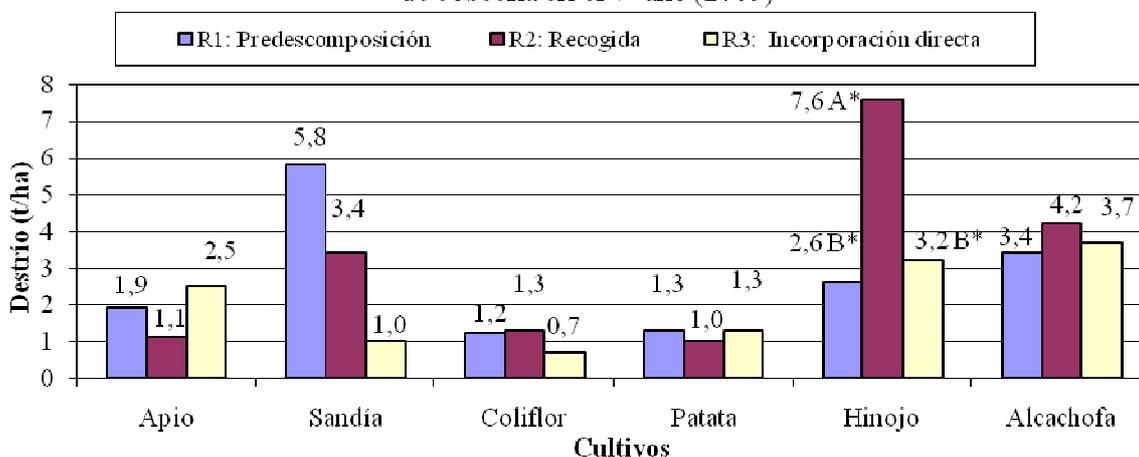
Los resultados de destrío obtenidos en los distintos cultivos implantados en los cuatros años del estudio (2003 a 2006) en función del tipo de gestión de los restos del cultivo precedente se muestran en las Figuras 46 a 49. Al comparar las tres modalidades de gestión de la biomasa residual se observa una alta variabilidad en los datos de destrío según el cultivo y el año del estudio, obteniéndose diferencias estadísticamente significativas únicamente en tres casos: maíz dulce y patata del año 2004, e hinojo del año 2005. No obstante, el patrón de variación en estos cultivos resultó variable. Así, mientras en maíz dulce e hinojo la incorporación de los restos del cultivo precedente (con las dos modalidades estudiadas) originó un valor de destrío inferior al resultante con la recogida de los restos de cosecha, en el cultivo de patata el destrío producido con la incorporación inmediata de los restos de cultivo resultó superior al originado con las otras modalidades de tratamiento de la biomasa residual.



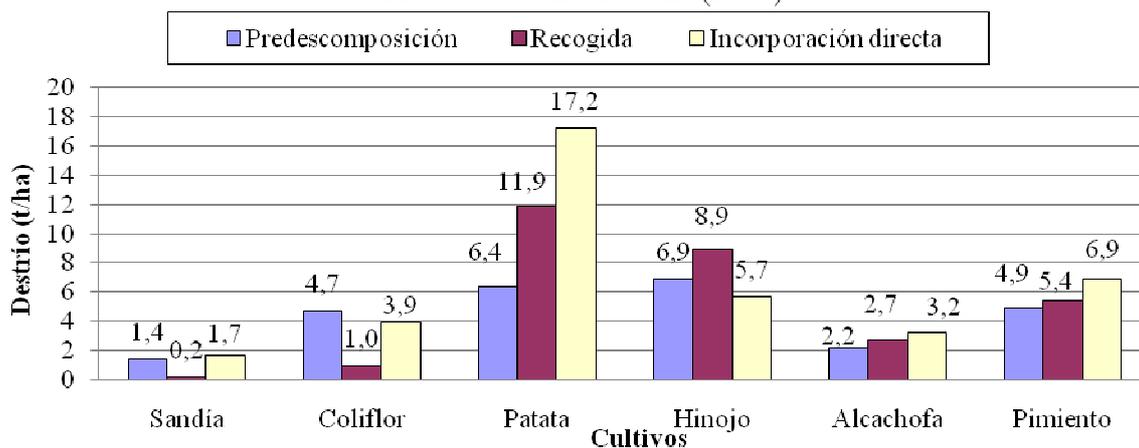
**Figura 47.** Destrio de los cultivos en función de la gestión de los restos de cosecha en el 6° año (2004)



**Figura 48.** Destrio de los cultivos en función de la gestión de los restos de cosecha en el 7° año (2005)



**Figura 49.** Destrio de los cultivos en función de la gestión de los restos de cultivo de cosecha en 8° año (2006)



Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$ , y las letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$ , y letras mayúsculas con asterisco a  $P \leq 0,01$

### ***4.2.3. Peso medio de los productos cosechados***

Los valores de peso medio de los productos cosechados en los cuatro años del estudio (del 2003 al 2006) en función de la gestión de los restos del cultivo precedente se muestran en la Tabla 51. Puede observarse que las diferencias en peso medio entre los tres tipos de tratamiento de la biomasa residual resultaron estadísticamente significativas únicamente en seis casos: coliflor 2003 (8 piezas/caja), apio 2004 (clase 1<sup>a</sup>), patata 2004, coliflor 2005 (6 piezas/caja), e hinojo 2005 y 2006 (clase 1<sup>a</sup>), pero sin una tendencia de variación definida. Así, en coliflor 2003, apio 2004 y patata 2004, el peso medio más alto se observó con el tratamiento R<sub>1</sub> (predescomposición); en coliflor 2005, el valor más alto se obtuvo con el tratamiento R<sub>2</sub> (recogida de los restos de cultivo); y, en hinojo 2005 y 2006, los valores más altos de peso medio se registraron con el tratamiento R<sub>3</sub> (incorporación de restos inmediatamente después de la recolección).

**Tabla 51.** Peso medio de los productos comerciales cosechados en cada cultivo y año del estudio en función de la modalidad de gestión de los restos de cultivo (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub>)

Cultivos		Parcelas	Peso medio (kg)			ES <sub>x</sub>
			R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
<b>5° año (2003)</b>						
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>	A/I	0,580	0,521	0,658	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,395	0,382	0,368	NS
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,326	0,371	0,284	NS
Alcachofa		B/II	0,133	0,127	0,130	NS
Apio		C/III	0,829	0,823	0,737	NS
Coliflor	6 Piezas/caja	D/IV	1,431	1,399	1,363	NS
	8 Piezas/caja		0,989 A	0,924 AB	0,829 B	**
<b>6° año (2004)</b>						
Maíz dulce	Clase 1 <sup>a</sup>	A/I	0,376	0,383	0,392	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,253	0,235	0,239	NS
Alcachofa			0,111	0,110	0,116	NS
Apio	Clase 1 <sup>a</sup>	B/II	0,936 a	0,857 ab	0,822 b	*
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,449	0,450	0,420	NS
Sandía	Sin semilla	C/III	5,524	5,650	5,289	NS
	Con semilla		5,357	5,859	5,502	NS
Coliflor	6 Piezas/caja	C/III	1,407	1,351	1,384	NS
	8 Piezas/caja		0,868	1,008	0,900	NS
Patata		D/IV	0,159 A*	0,144 AB*	0,132 B*	***
Hinojo			-	-	-	-
<b>7° Año (2005)</b>						
Apio	Clase 1 <sup>a</sup>	A/I	0,627	0,672	0,660	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,335	0,320	0,321	NS
Sandía	Sin semilla	B/II	6,789	7,399	7,071	NS
	Con semilla		5,621	5,911	6,483	NS
Coliflor	6 Piezas/caja	B/II	1,612 B*	1,770 A*	1,660 B*	***
	8 Piezas/caja		1,087	1,087	1,072	NS
Patata			0,137	,140	0,132	NS
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>	C/III	0,514 AB*	0,467 B*	0,531 A*	***
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,355	0,364	0,358	NS
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,283	0,270	0,287	NS
Alcachofa		D/IV	0,122	0,124	0,120	NS
<b>8° año (2006)</b>						
Sandía	Sin semilla	A/I	3,970	3,922	4,015	NS
	Con semilla		6,246	6,762	6,243	NS
Coliflor	6 Piezas/caja	A/I	1,567	1,706	1,556	NS
	8 Piezas/caja		1,088	1,181	1,086	NS
Patata			0,183	0,201	0,185	NS
Hinojo	Clase 1 <sup>a</sup>	B/II	0,517 B*	0,545 AB*	0,577 A*	***
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,338	0,366	0,363	NS
	Clase 3 <sup>a</sup>		0,276	0,275	0,283	NS
Alcachofa		C/III	0,115	0,118	0,112	NS
Pimiento	Clase 1 <sup>a</sup>	D/IV	0,263	0,272	0,270	NS
	Clase 2 <sup>a</sup>		0,208	0,214	0,211	NS

R<sub>1</sub> = Predescomposición de restos de cultivo en la superficie del suelo; R<sub>2</sub> = Recogida de restos de cultivo; R<sub>3</sub> = Incorporación directa de restos de cultivo  
 ES<sub>x</sub>: Nivel de significación. NS, \*, \*\*, \*\*\*. No significativo o significativo a P ≤ 0,10, 0,05 ó 0,01, respectivamente. Los valores con letras minúsculas difieren a P ≤ 0,10, letras mayúsculas a P ≤ 0,05 y letras mayúsculas con asterisco a P ≤ 0,01.

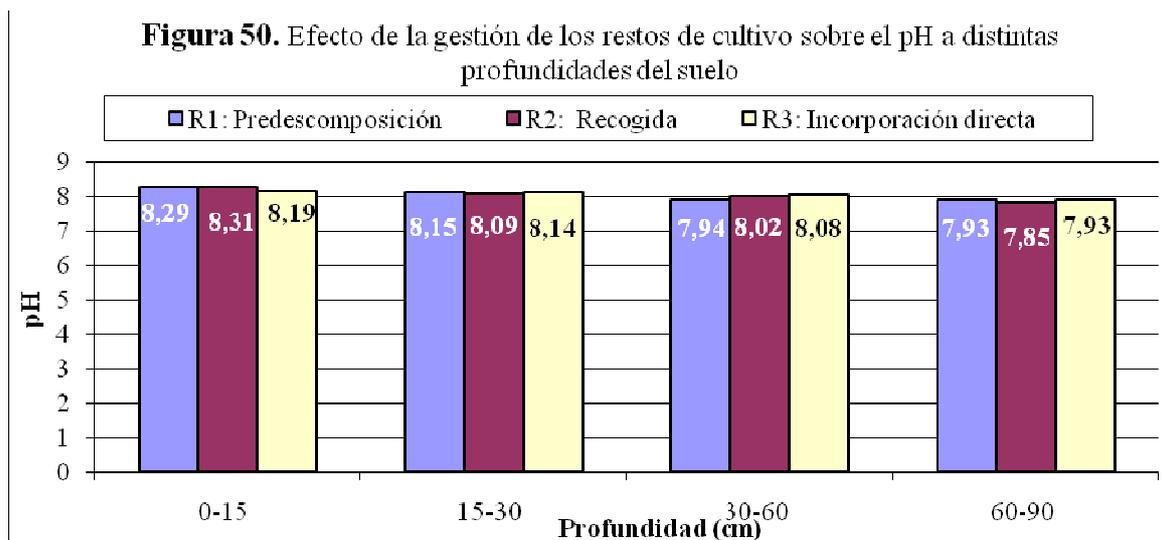
#### **4.2.4. Efectos sobre las características físico-químicas del suelo**

##### 4.2.4.1. pH

Los valores de pH a distintas profundidades del suelo se muestran en la Figura 50. Puede observarse que las diferencias en este parámetro entre las tres modalidades de gestión de los restos de cultivo fueron muy escasas, no encontrándose diferencias significativas en ninguna de las cuatro profundidades estudiadas. No obstante, cabe indicar que, en la capa superficial (0-15 cm), la incorporación de los restos de cultivo, bien de forma inmediata o bien tardía, originó una ligera disminución en el pH del suelo, no registrándose tal efecto, en general, en las restantes capas estudiadas.

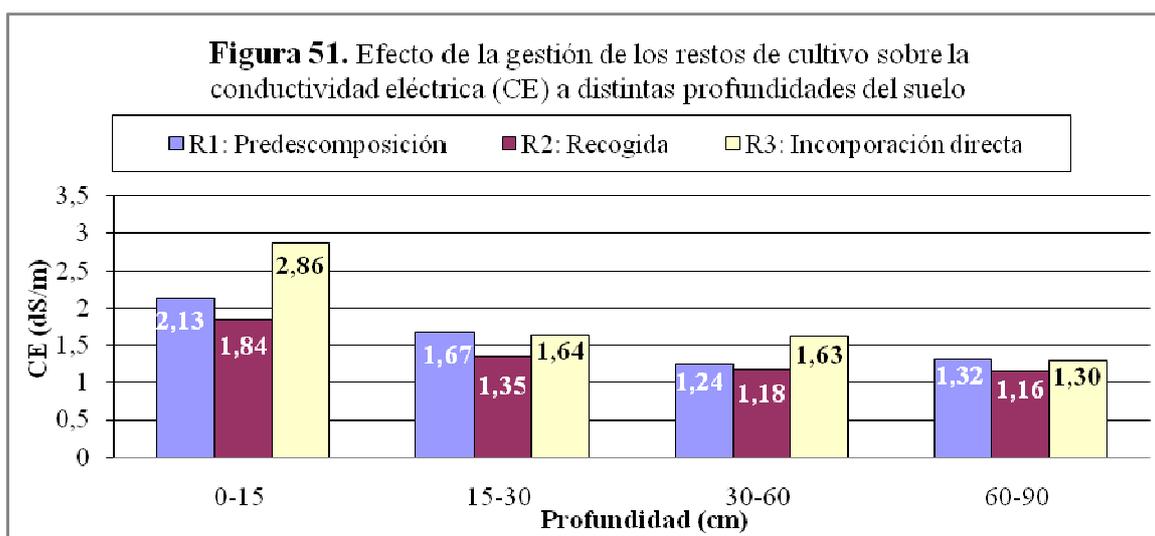
Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la cantidad de biomasa residual incorporada en los años del experimento ha sido claramente insuficiente para modificar de forma significativa el valor del pH del suelo. No obstante, en la bibliografía se pueden encontrar trabajos (Hue y Amien, 1989; Kretzschmar et al., 1991; Bessho y Bell, 1992; Karlen et al., 1994) realizados durante largos periodos de tiempo en los que se han obtenido aumentos considerables de pH en suelos ácidos tras la aplicación de biomasa vegetal. Y en algunas investigaciones se ha constatado. Además, que la magnitud del aumento del pH del suelo debido a la incorporación de los restos de cultivo es dependiente de la especie vegetal. Así, las leguminosas, debido a su mayor capacidad para acumular aniones orgánicos, provocan aumentos de pH mayores que las gramíneas (Mengel y Steffens, 1982, citado por Kumar y Goh, 2000).

Por otra parte, la biomasa vegetal contiene gran cantidad de compuestos de N orgánico, como proteínas, aminoácidos, etc., que al transformarse en nitratos mediante el proceso de mineralización liberan protones, que pueden provocar la acidificación del suelo (Yan et al., 1996; Quenum et al., 2008b)



#### 4.2.4.2. Conductividad eléctrica

Los resultados de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo, a diferentes profundidades del mismo, en función del tipo de gestión de los restos de cultivo se muestran en la Figura 51. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las tres modalidades de manejo de los restos de los cultivos en ninguna de las profundidades del suelo estudiadas, puede apreciarse, particularmente en las dos capas más superficiales (0-15 y 15-30 cm), una clara tendencia a presentarse mayores valores de conductividad eléctrica en los tratamientos de incorporación de los restos de cultivo ( $R_1$  y  $R_3$ ) con respecto a la retirada de los mismos ( $R_2$ ). Tales resultados son atribuibles a la liberación de diferentes iones (cationes y aniones) resultantes del proceso de mineralización de la biomasa vegetal tras su incorporación al suelo. Y entre las dos modalidades de incorporación de los restos de cultivo, los resultados obtenidos en la muestra más superficial (0-15 cm) ponen de manifiesto una conductividad eléctrica en el tratamiento  $R_1$  (predescomposición en la superficie) menor que en el tratamiento  $R_3$  (incorporación inmediatamente después de la recolección).



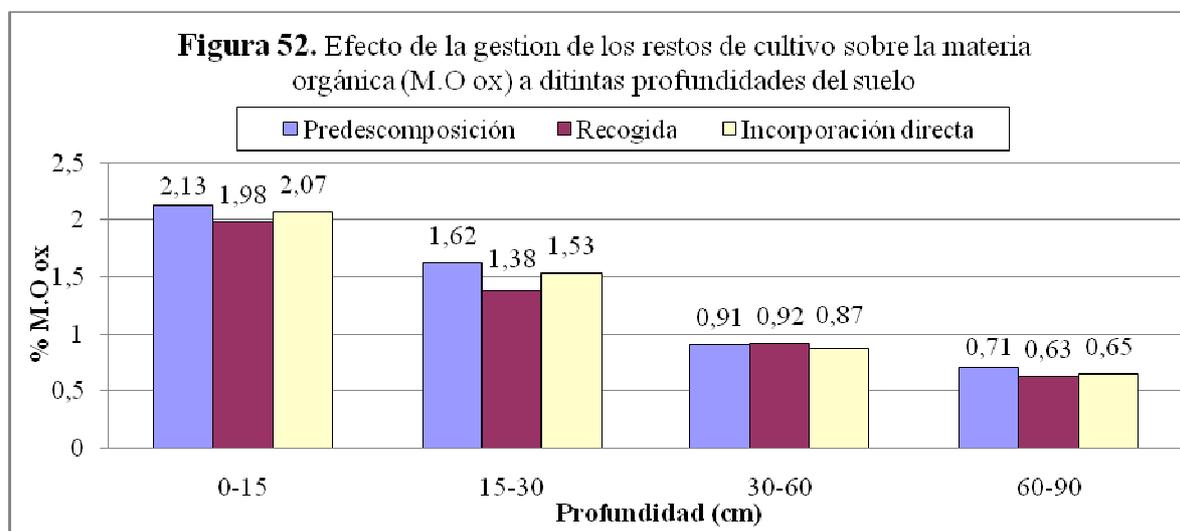
#### 4.2.5. Efectos sobre las propiedades químicas del suelo

##### 4.2.5.1. Materia orgánica

Los resultados de materia orgánica oxidable obtenidos en las cuatro profundidades del suelo estudiadas en función del tipo de manejo de los restos de cultivo, se muestran en la Figura 52. Puede observarse que, en las dos capas más superficiales (0-15 y 15-30 cm), la incorporación de los restos de cosecha en las dos modalidades estudiadas ( $R_1$  y  $R_3$ ) originó un ligero incremento en el contenido de materia orgánica con respecto a la retirada de los mismos ( $R_2$ ). Pero los aumentos registrados no alcanzaron significación estadística en ninguna de las capas muestreadas. Asimismo, cabe indicar que el nivel de materia orgánica disminuyó progresivamente a medida que aumentó la profundidad del suelo.

La aportación al suelo de biomasa vegetal, dada su naturaleza orgánica, puede compensar la pérdida de humus originada por el proceso de mineralización y, en algunos casos, aumentar el contenido de materia orgánica en dicho suelo. Las variaciones de este parámetro dependen de varios factores: a) la cantidad de biomasa incorporada anualmente, b) la duración del experimento, c) la composición de los restos decultivo, particularmente el contenido en lignina y polifenoles, y d) las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc). Así pues, la incorporación de

biomasa vegetal residual al suelo puede originar, con respecto a su retirada, escasas modificaciones (Aggarwal et al., 1997), o aumentos considerables (Karlen et al., 1994; Perucci et al., 1997; Quenum et al., 2008b), en los niveles de materia orgánica.

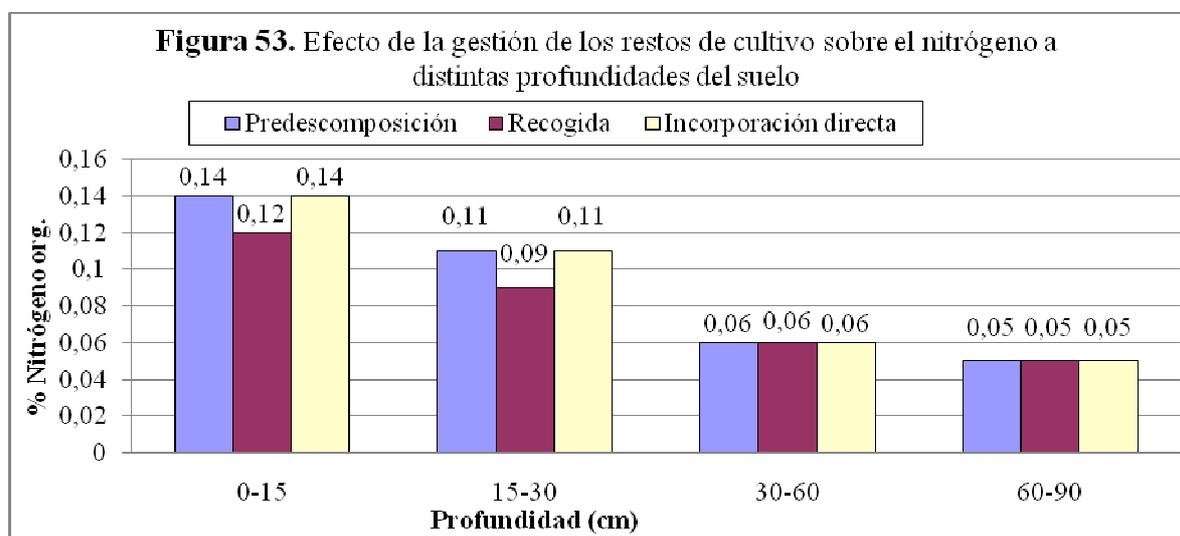


#### 4.2.5.2. Nitrógeno orgánico

Los resultados de nitrógeno orgánico en el suelo en función del tipo de tratamiento dado a los restos de cultivo se muestran en la Figura 53. Tales resultados indican unas pautas de variación similares a las encontradas en la materia orgánica. El efecto positivo de la incorporación de la biomasa vegetal residual, con respecto a la retirada de la misma, se manifestó con una magnitud apreciable únicamente en las dos profundidades más superficiales (0-15 y 15-30 cm). Además, las dos modalidades de incorporación de los restos de cosecha ( $R_1$  y  $R_3$ ) originaron, como era previsible, valores similares. No obstante, las cuantías de estos efectos no llegaron a alcanzar los niveles de significación estadística.

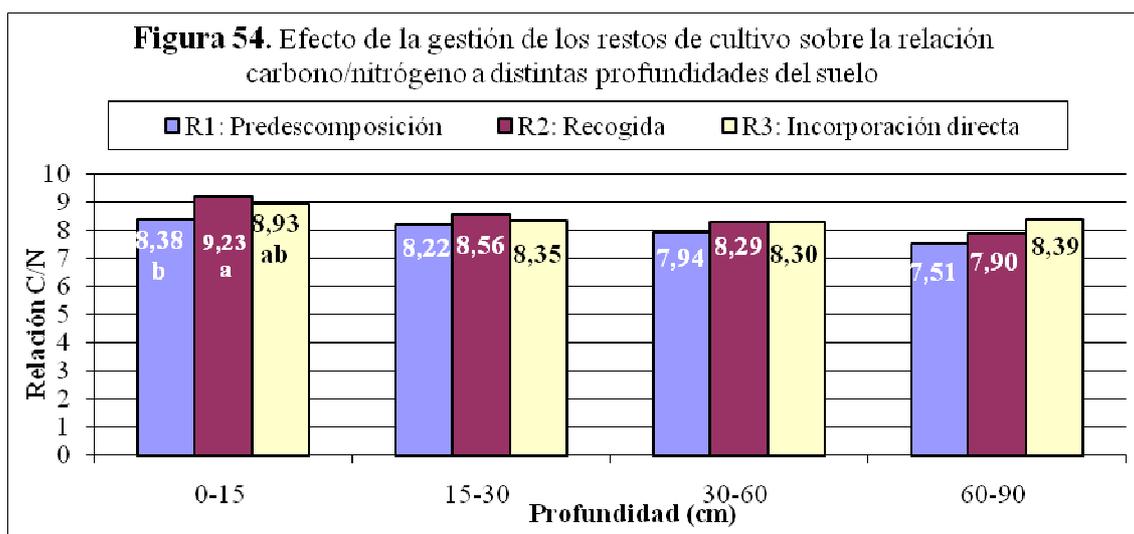
La eficacia de la incorporación de biomasa vegetal para aumentar el contenido de nitrógeno orgánico del suelo depende en gran medida de: a) la dosis de materia seca aportada, b) la composición de la biomasa (nitrógeno, lignina, polifenoles, etc.), y c) las condiciones ambientales. De ahí que, para obtener incrementos significativos

derivados de la incorporación al suelo de biomasa vegetal, se requieran periodos experimentales de larga duración (Rasmussen et al., 1980; Karlen et al., 1994; Quenum et al., 2008b).



#### 4.2.5.3. Relación carbono / nitrógeno (C/N)

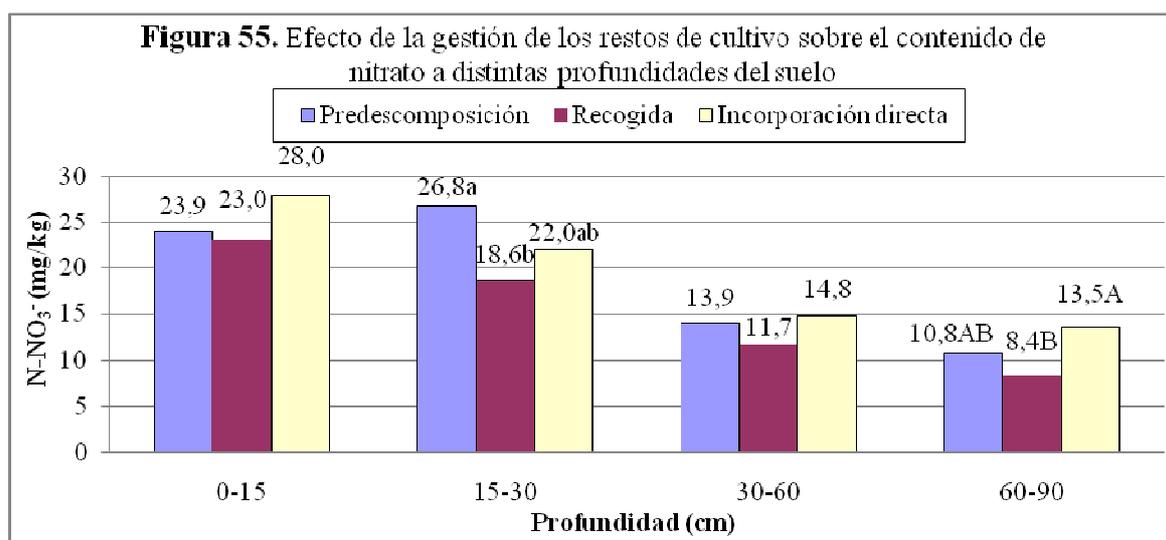
En la Figura 54 se indican los resultados de la relación C/N en el suelo obtenidos en los tres tratamientos de manejo de los restos de cultivo. Al igual que en los casos de la materia orgánica y el nitrógeno orgánico, las modificaciones en el valor de la relación C/N se encontraron en la capa más superficial del suelo (0-15 cm), con valores de este parámetro en los tratamientos de incorporación de biomasa vegetal significativamente inferiores a los correspondientes a la retirada de ésta ( $R_2$ ), especialmente en el tratamiento  $R_1$ . En cualquier caso, los resultados de la relación C/N registraron, en general, valores entre 8 y 9, que se consideran en el rango considerado normal para los suelos de cultivo (Saña et al., 1996). Estos resultados resultan algo sorprendentes ya que, dado que los restos de los cultivos presentan una relación C/N más alta que el humus del suelo, lo previsible era que los tratamientos de incorporación de la biomasa residual ( $R_1$  y  $R_3$ ) hubieran dado valores de relación C/N algo más altos que el tratamiento  $R_2$ .



Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$

#### 4.2.5.4. Nitrógeno nítrico

En la Figura 55 se indican los resultados de nitrógeno nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) en función del tipo de gestión de los restos de cultivo y profundidad del suelo. Se puede observar que el patrón de variación entre los tres tratamientos estudiados ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ) resultó similar en las 4 profundidades del suelo muestreadas. Con las dos modalidades de incorporación de la biomasa vegetal ( $R_1$  y  $R_3$ ) se observaron valores de nitrato superiores a los resultantes en el tratamiento  $R_2$  (retirada de los restos de cosecha), pero únicamente se alcanzaron diferencias significativas en las profundidades de 15-30 cm y 60-90 cm. La menor acumulación de nitrato registrada mediante la retirada de los restos ( $R_2$ ) concuerda con los valores más bajos de nitrógeno orgánico encontrados en esta modalidad de gestión de los restos de cultivo.

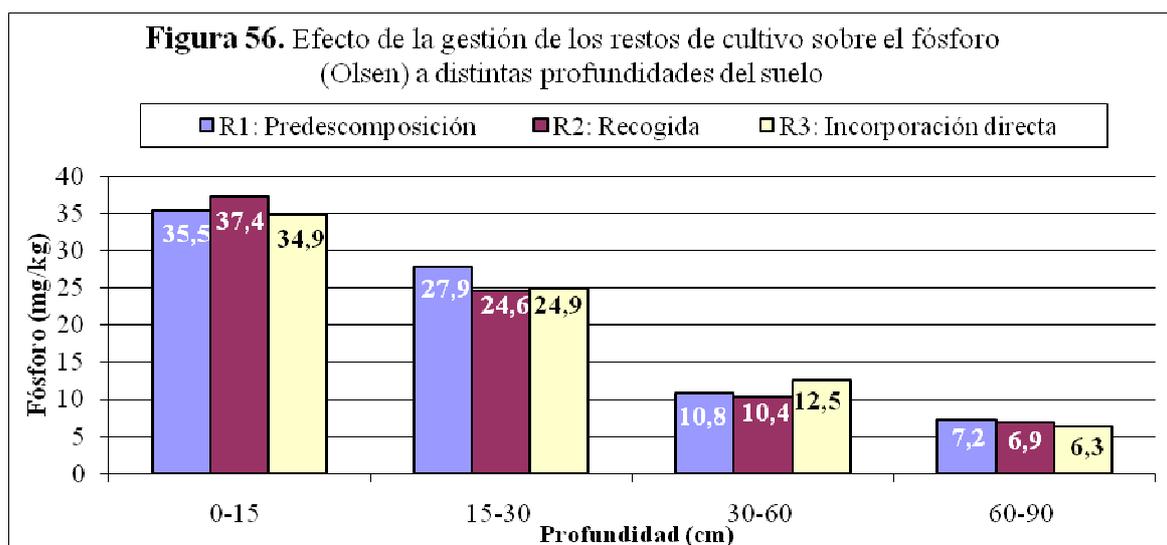


Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$ , y letras mayúsculas a  $P \leq 0,05$

#### 4.2.5.5. Fósforo asimilable

Los resultados de fósforo (P) extraíble con bicarbonato sódico (método Olsen) a diferentes profundidades del suelo se muestran en la Figura 56. Estos resultados indican que la incorporación de la biomasa vegetal correspondiente a los restos de cultivo, en comparación con la retirada de los mismos, no afectó de forma significativa el nivel de fósforo asimilable registrado en las 4 profundidades del perfil del suelo estudiadas. En cambio, en otros trabajos (Aggarwal et al., 1997), se constató que la incorporación de los restos de cultivo produjo un incremento en el nivel de fósforo asimilable del suelo, atribuible, según estos autores, a la mayor actividad fosfatasa (ácida y alcalina) generada por la biomasa vegetal.

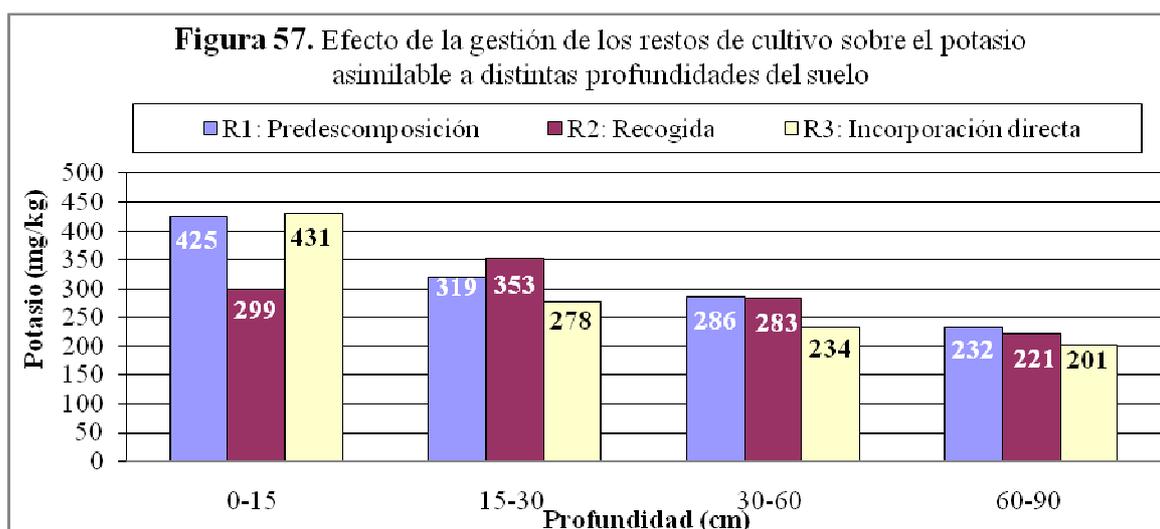
Asimismo, cabe indicar que los resultados obtenidos en este trabajo (Figuras 56) muestran una progresiva disminución en el contenido de fósforo asimilable con la profundidad del suelo, desde valores entre 35 y 37 mg P/kg en la profundidad 0-15 cm hasta cifras entre 6 y 7 mg P/kg en la capa más profunda, 60-90 cm. Estos niveles de fósforo asimilable en el suelo se encuentran dentro del umbral de suficiencia para los cultivos hortícolas (Pomares et al., 2007a).



#### 4.2.5.6. Potasio asimilable

En la Figura 57 se muestran los resultados de potasio (K) extraíble con acetato amónico (soluble + intercambiable) en función del manejo dado a los restos de cultivo. Puede observarse que las diferencias entre las tres modalidades de gestión de los restos de cultivo no resultaron significativas en ninguna de las 4 profundidades del suelo muestreadas. No obstante, la incorporación de la biomasa vegetal en dos modalidades (R<sub>1</sub> y R<sub>3</sub>) estudiadas dieron valores de potasio asimilable en la capa de 0-15 cm más algo altos que los registrados con el tratamiento R<sub>2</sub> (retirada de los restos de cultivo). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores (Kretzschmar et al., 1991; Geiger et al., 1992; Quenum et al., 2008a) y eran además esperables, ya que la biomasa vegetal contiene considerables cantidades de potasio, que al descomponerse pasan a formar parte de las fracciones (soluble + cambiabile) correspondientes al potasio asimilable, a partir de las cuales puede ser absorbido por las plantas o sufrir lixiviación con el agua de drenaje, entre otros procesos.

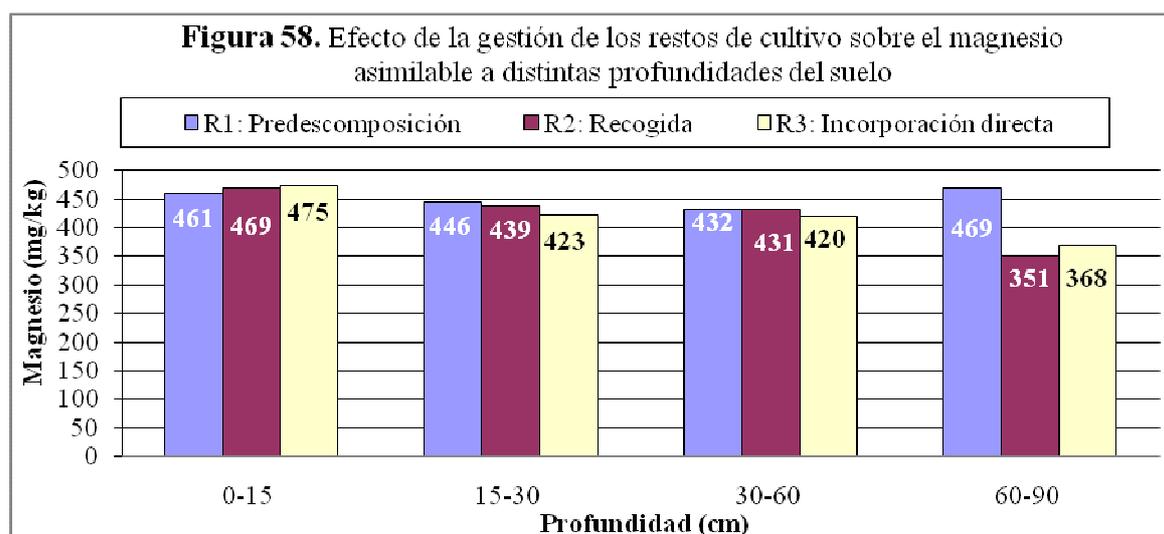
Asimismo, cabe señalar que los niveles de potasio asimilable obtenidos en los tres tipos de manejo de los restos de cultivo se encuentran en el rango de suficiencia para los suelos de hortícolas (Pomares et al., 2007d).



#### 4.2.5.7. Magnesio asimilable

Los valores de magnesio (Mg) extraíble con acetato amónico (soluble + intercambiable) en función de la modalidad de gestión de los restos de cultivo se muestran en la Figura 58. Estos resultados indican que los niveles de magnesio disponible fueron similares en las tres modalidades de manejo de la biomasa vegetal. Y que, a diferencia de lo encontrado con el potasio asimilable, el tratamiento de retirada de los restos de cultivo ( $R_2$ ) registró unos valores parecidos a los obtenidos con las dos modalidades de incorporación de dichos restos de cultivo ( $R_1$  y  $R_3$ ). Una posible explicación de estos resultados puede ser el alto contenido de magnesio en el agua de riego, que es de suficiente magnitud para compensar la salida de magnesio del sistema producida por la retirada de los restos de cultivo.

Por otra parte, debe señalarse que los contenidos de magnesio asimilable resultantes con los tres tipos de manejo de la biomasa vegetal residual están incluidos en el rango de suficiencia en los suelos de hortalizas (Pomares et al., 2007d).



#### 4.2.5.8. Cationes (calcio, magnesio, potasio y sodio) en el extracto de saturación

Los contenidos de los cationes principales (calcio, magnesio, sodio y potasio) en el extracto de saturación de las cuatro profundidades del suelo estudiadas en función del manejo dado a los restos de cultivo se indican en la Tabla 52. Puede observarse que el efecto de la incorporación de la biomasa vegetal residual ( $R_1$  y  $R_3$ ) fue variable y relativamente bajo. Así, únicamente se encontraron diferencias significativas en el calcio (profundidad 30-60 y 60-90 cm), el magnesio (30-60 cm) y el sodio (30-60 cm), con niveles de significación de  $P \leq 0,05$  en el primer elemento y  $P \leq 0,10$  en los dos últimos. Así mismo, cabe indicar que, en general, los valores de los cationes solubles resultaron más bajos en el tratamiento de recogida ( $R_2$ ) que en los respectivos tratamientos de incorporación de los restos de cultivo ( $R_1$  y  $R_3$ ).

**Tabla 52.** Efecto de la gestión de los restos de cultivo sobre el contenido de cationes soluble del suelo

Trat.	Ca (meq/L)				K (meq/L)				Mg (meq/L)				Na (meq/L)			
	Profundidad (cm)															
	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90
<b>Extracto Saturación</b>																
$R_1$	6,10	4,50	3,35a	3,60b	0,55	0,30	0,10	0,10	3,30	2,35	1,95a	1,95	1,60	1,10	0,80a	0,80
$R_2$	4,90	3,60	3,05a	3,10a	0,22	0,10	0,10	0,10	2,65	2,00	2,00a	1,85	1,30	0,95	0,75a	0,65
$R_3$	7,10	4,15	5,05b	3,70b	0,90	0,25	0,15	0,05	4,35	2,20	2,80b	2,00	2,00	1,05	1,25b	0,80
$ES_x$	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS

$R_1$  = Predescomposición de restos de cultivo en la superficie del suelo;  $R_2$  = Recogida de restos de cultivo;  $R_3$  = Incorporación directa de restos de cultivo.  
 $ES_x$  Nivel de significación. NS, \*, \*\*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$  y  $0,05$ , respectivamente. Valores en columna sin subíndice común difieren significativamente.

#### 4.2.5.9. Aniones (cloruro, sulfato y bicarbonato) en el extracto de saturación

Los contenidos de aniones (cloruro, sulfato y biocarbonato) en el extracto de saturación de las cuatro profundidades del suelo estudiadas en función del manejo dado a los restos de cultivo se muestran en la Tabla 53. Al igual que en el caso de los cationes solubles, el efecto del manejo de los restos de cultivo sobre los contenidos de aniones solubles ha resultado variable y relativamente bajo. Los únicos parámetros afectados de forma estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) han sido el cloruro (capa de 30-60 cm) y el sulfato (capa 30-60 cm). Y en general, el tratamiento de recogida de los restos de cultivo ( $R_2$ ) originó unos contenidos de aniones solubles más bajos que los dos tratamientos de incorporación de la biomasa residual ( $R_1$  y  $R_3$ ).

**Tabla 53.** Efecto de la gestión de los restos de cultivo sobre el contenido de aniones solubles del suelo

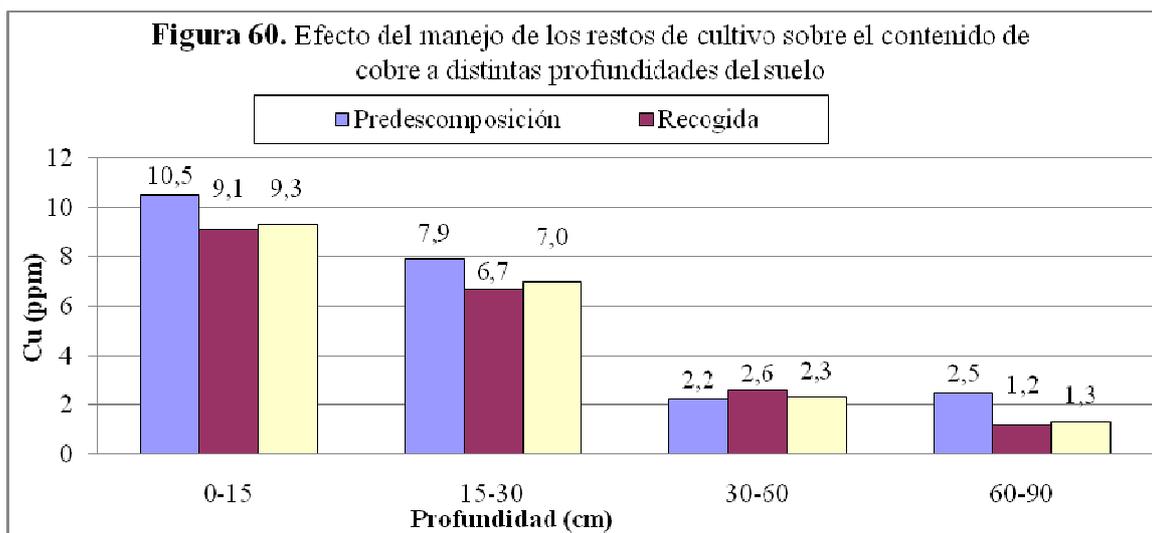
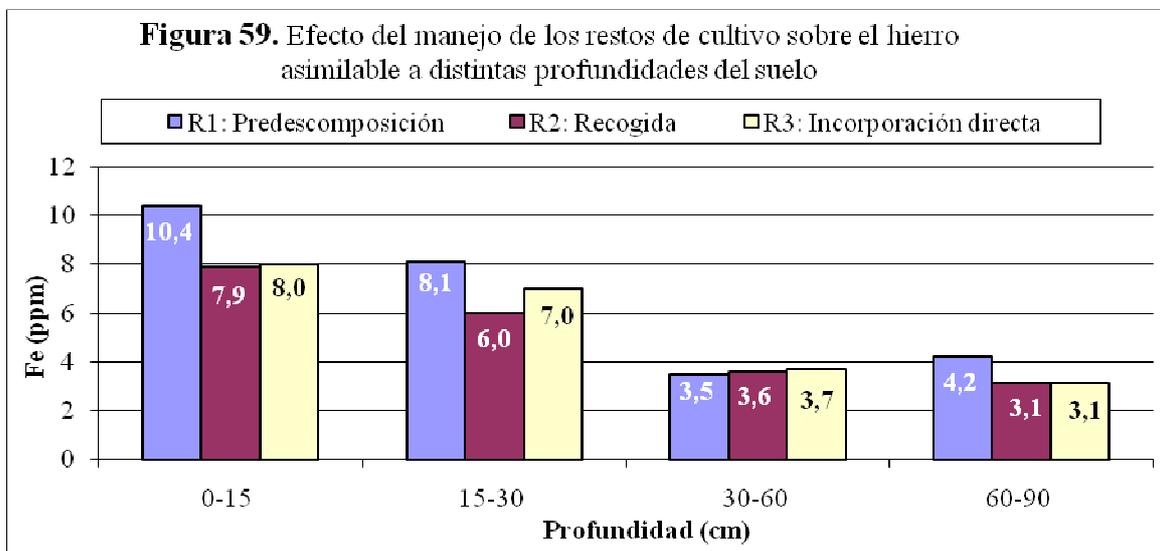
Tratamientos	Cl <sup>-</sup> (meq/L)				SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/L)				CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (meq/L)			
	Profundidad (cm)											
	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90	0-15	15-30	30-60	60-90
$R_1$	3,66	2,09	1,20a	1,03	7,26	5,80	5,20a	6,29	3,49	3,77	2,80	2,37
$R_2$	2,43	1,63	1,17a	0,86	5,94	4,40	4,80a	5,34	3,66	4,49	2,80	2,03
$R_3$	6,14	2,26	2,31b	1,14	6,71	4,03	7,03b	5,77	4,57	4,40	3,66	2,23
ESx	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS

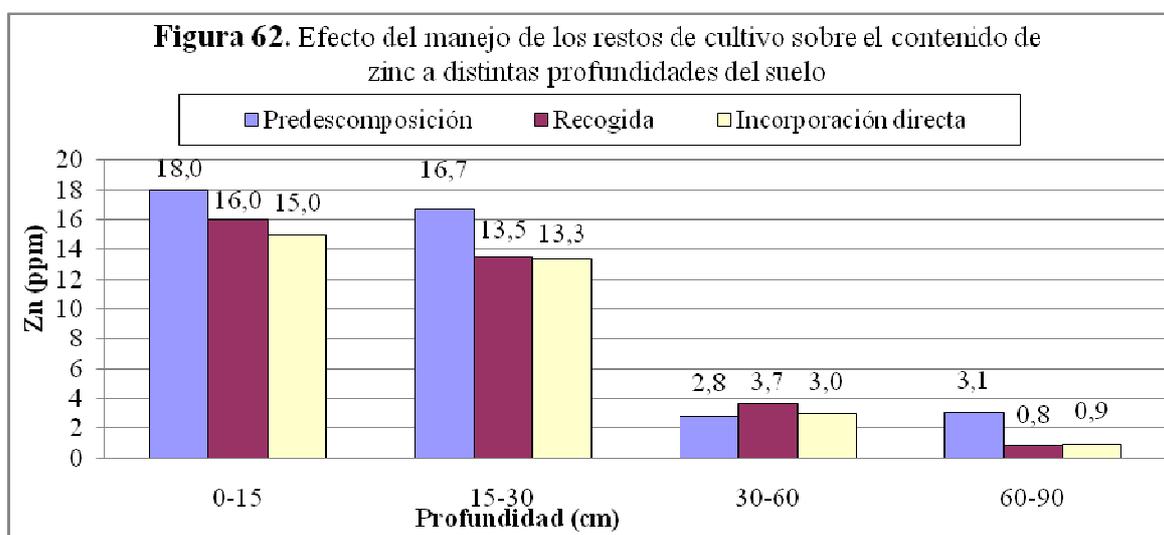
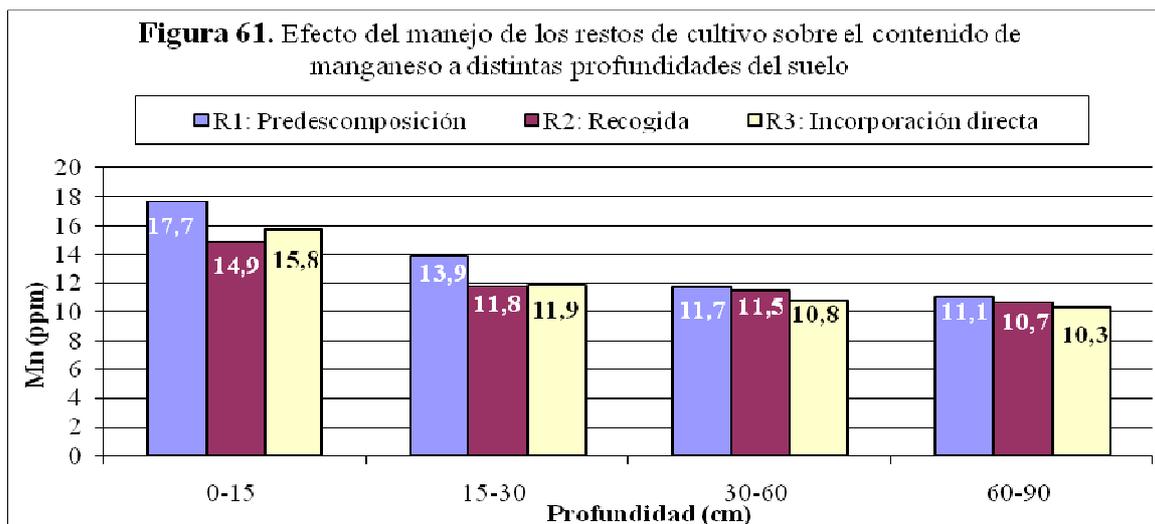
$R_1$  = Predescomponer de restos de cultivo en la superficie del suelo;  $R_2$  = Recogida de restos de cultivo;  $R_3$  = Incorporación directa de restos de cultivo  
ESx: Nivel de significación. NS, \*: No significativo o significativo a  $P \leq 0,10$ , respectivamente. Valores en columna sin subíndice común difieren significativamente.

#### 4.2.5.10. Micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn) asimilables

Los contenidos de micronutrientes (hierro, cobre, manganeso y zinc) extraíbles con ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA) en función de la gestión realizada con los restos de cultivo se muestran en las Figuras 59 a 62. Se puede observar que, en general, la incorporación de la biomasa vegetal residual tuvo una escasa repercusión en los niveles de los micronutrientes asimilables, no encontrándose en ninguno de los casos estudiados diferencias estadísticamente significativas entre las tres modalidades de manejo de los restos de cultivo. No obstante, el tratamiento  $R_1$  (descomposición y posterior incorporación) mostró tendencia a incrementar el contenido de los micronutrientes, en comparación con los tratamientos  $R_2$  (retirada) y  $R_3$  (incorporación

directa), en las capas superficiales del suelo, particularmente en la profundidad 0-15 cm, tendencia que, por otra parte, fue más marcada en el hierro que en los restantes microelementos.





#### 4.2.6. Efectos sobre las características biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo estudiadas fueron: la biomasa microbiana y dos actividades enzimáticas (fosfatasa alcalina y deshidrogenasa).

##### 4.2.6.1. Biomasa microbiana

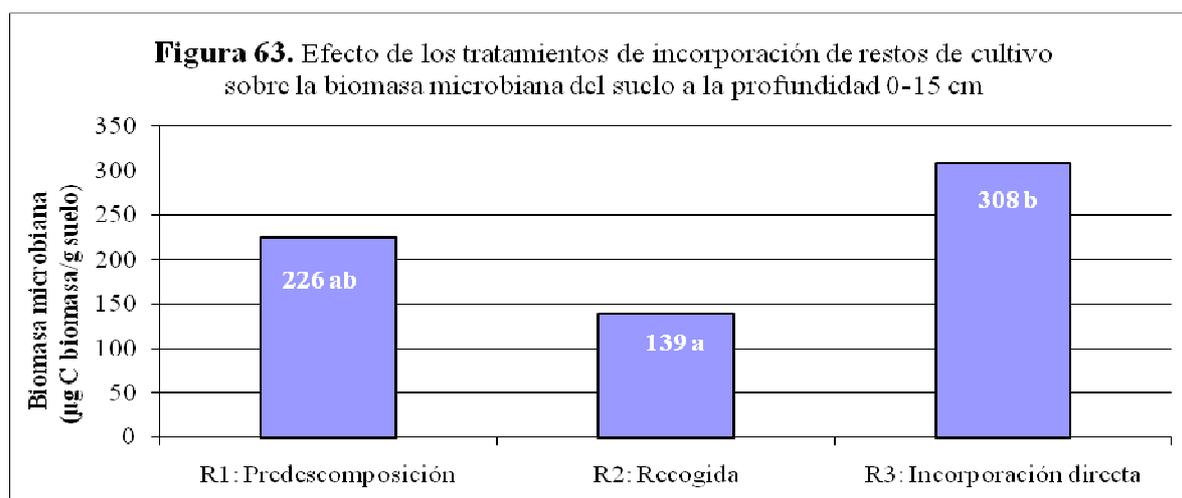
La biomasa microbiana del suelo está constituida por el conjunto de organismos vivos de dicho suelo, principalmente hongos y bacterias, y aunque representa una pequeña porción del C orgánico (1% - 3%) y del N orgánico (2% - 6%) existentes en el suelo, desempeña un papel de crucial importancia en la dinámica de la materia

orgánica y de los nutrientes en éste, interviniendo como sumidero (inmovilización) o como fuente (mineralización) de los elementos nutritivos.

Los resultados de biomasa microbiana obtenidos en el suelo a la profundidad de 0-15 cm en función del manejo dado a los restos de cultivo se presentan en la Figura 63. Puede observarse que las dos modalidades de incorporación de la biomasa residual ( $R_1$  y  $R_3$ ) dieron mayores niveles de biomasa microbiana que el tratamiento de recogida ( $R_2$ ), mostrándose una considerable diferencia entre el valor más alto (tratamiento  $R_3$ ) y el más bajo (tratamiento  $R_2$ ), que fue altamente significativa; en cambio, el valor obtenido con el tratamiento  $R_1$  se mantuvo en una posición intermedia, no mostrando diferencias estadísticamente significativas con ninguno de los otros dos tratamientos ( $R_2$  y  $R_3$ ).

El marcado efecto positivo de la incorporación de los restos de cultivo encontrado en este estudio concuerda bastante bien con los resultados de otros autores (Ocio et al., 1991; Collins et al., 1992; Nannipieri et al., 1995; Perucci et al., 1997; Quenum et al., 2008b), los cuales también constataron que la incorporación de los restos de cultivo produjo un aumento considerable de la biomasa microbiana del suelo.

A pesar de que la materia orgánica del suelo puede reflejar las incorporaciones de los restos vegetales, el parámetro biomasa microbiana resultó más sensible como indicador de las aportaciones de materia orgánica al suelo, ya que mientras que el aumento de materia orgánica (media de los dos tratamientos de incorporación) con respecto a la recogida fue de un 6%, el aumento homólogo de biomasa microbiana fue de un 92%.



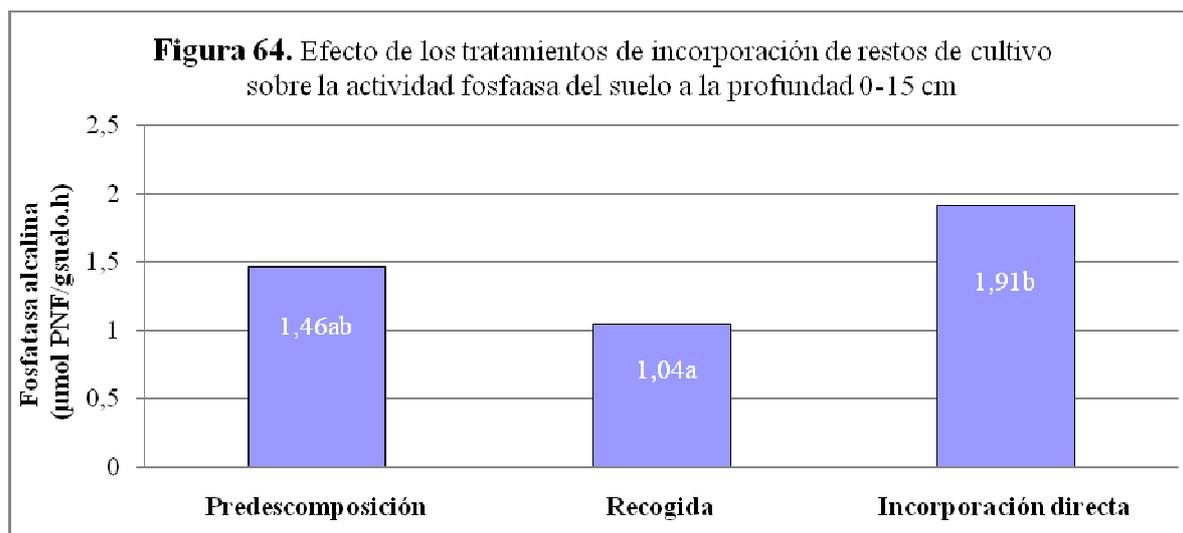
Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$

#### 4.2.6.2. Actividad fosfatasa alcalina

En la Figura 64 aparecen los resultados de la actividad fosfatasa alcalina obtenidos en el suelo (0-15 cm) en función del manejo dado a los restos de cultivo. Puede observarse que, al igual que sucedió con la biomasa microbiana, la actividad de la fosfatasa alcalina resultó mucho más alta en los dos tratamientos de incorporación de los restos vegetales ( $R_1$  y  $R_3$ ) que en el tratamiento de recogida ( $R_2$ ), registrándose el mismo patrón de variación que en el caso de la biomasa microbiana: únicamente se alcanzaron diferencias estadísticamente significativas entre la incorporación directa ( $R_3$ ) y la recogida ( $R_2$ ).

A tenor de que el material vegetal no contiene la enzima fosfatasa alcalina, el aumento de esta actividad enzimática del suelo encontrado en este trabajo cabe atribuirlo a la estimulación de la actividad microbiológica generada mediante la incorporación de la biomasa vegetal residual al suelo (Kumar y Goh, 2000).

La actividad fosfatasa alcalina también respondió con mayor intensidad que la materia orgánica del suelo a la incorporación de biomasa vegetal residual. Así, mientras que el aumento de materia orgánica (media de los tipos de incorporación) respecto a la recogida fue del 6%, el aumento de la actividad fosfatasa alcalina alcanzó la cifra del 62%.



Los valores con letras minúsculas difieren significativamente a  $P \leq 0,10$

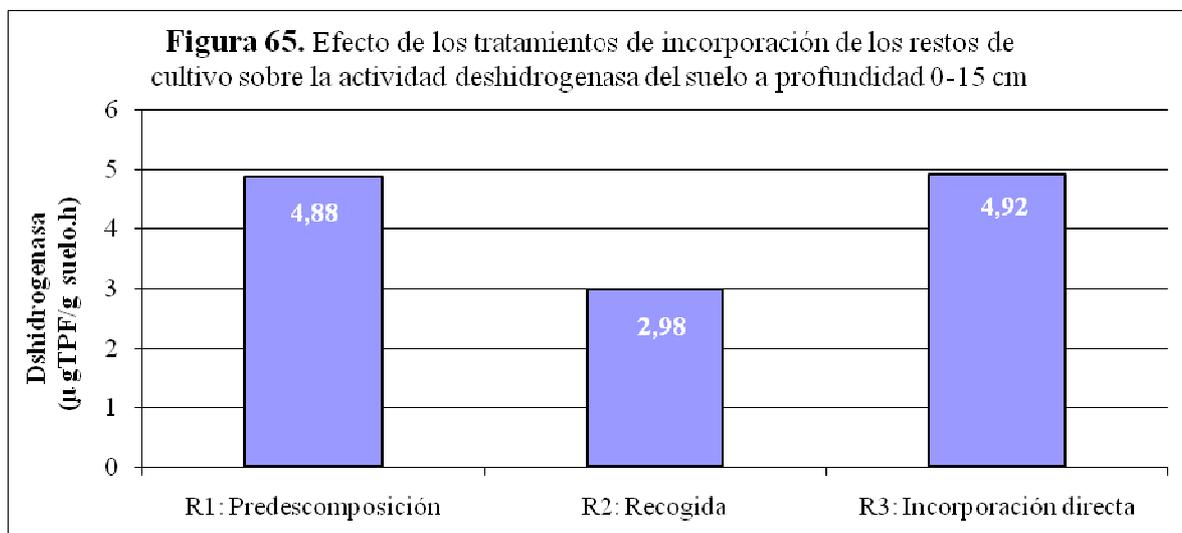
#### 4.2.6.3. Actividad deshidrogenasa

La enzima deshidrogenasa interviene en algunas reacciones bioquímicas del ciclo del carbono, desempeñando un papel de gran importancia en los procesos de transformación de la materia orgánica en el suelo.

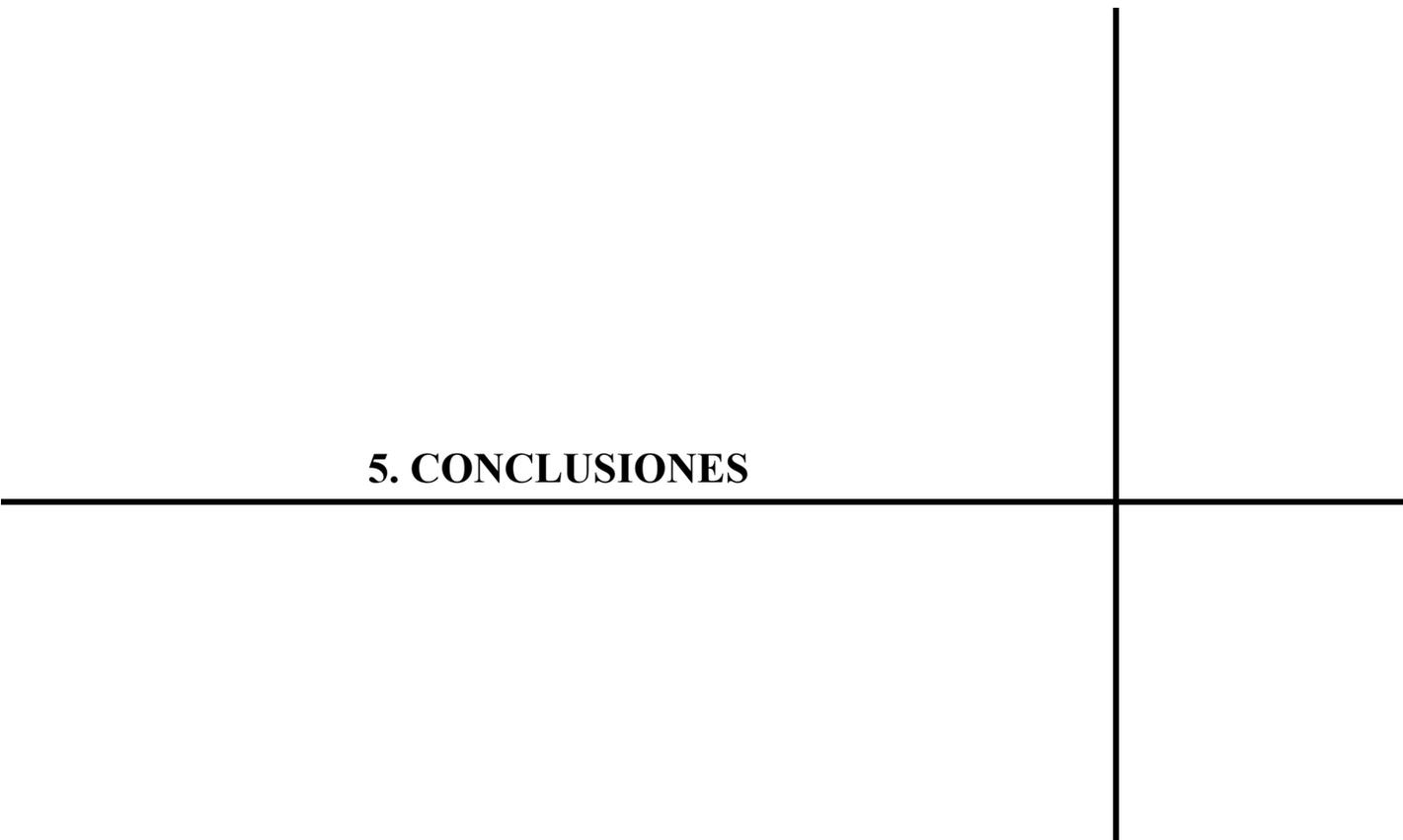
Los resultados de la actividad deshidrogenasa en el suelo (0-15 cm) en función del manejo dado a los restos de cultivo se presentan en la figura 65. Estos datos indican que los dos tratamientos de incorporación de restos vegetales ( $R_1$  y  $R_3$ ) originaron mayores valores de actividad deshidrogenasa que el tratamiento de recogida ( $R_2$ ), aunque las diferencias entre ellos no alcanzaron significación a nivel estadístico. En cualquier caso, estos resultados son concordantes con los obtenidos en este trabajo en otros parámetros del suelo como la materia orgánica (4.2.5.1), la biomasa microbiana (4.2.6.1) y la fosfatasa alcalina (4.2.6.2).

Al igual que sucedió con la biomasa microbiana y actividad fosfatasa, la actividad deshidrogenasa se reveló mejor indicador que la materia orgánica del suelo para reflejar los efectos derivados de la incorporación de la biomasa vegetal residual, ya que mientras que el aumento de materia orgánica (media de los dos tratamientos de

incorporación) con respecto a la recogida fue de un 6%, el aumento de actividad deshidrogenasa fue de un 64 %.



## **5. CONCLUSIONES**





En relación a la comparación de la producción ecológica versus la producción integrada.

- El rendimiento de los cultivos integrantes de las respectivas rotaciones en los dos sistemas de producción resultó variable según la especie y campaña.
- En la mayoría de los cultivos, el rendimiento obtenido con la producción ecológica fue algo inferior al de la producción integrada, registrándose diferencias significativas únicamente en 8 de las 27 cosechas estudiadas.
- En la producción ecológica, el rendimiento relativo respecto a la producción integrada registró una disminución del 11% en el conjunto de todas las cosechas obtenidas durante los cuatro años del estudio.
- Respecto a la aptitud de las especies horícolas para el cultivo ecológico, se obtuvo la siguiente secuencia por orden decreciente: sandía > coliflor > hinojo > apio > patata > alcachofa > maíz dulce > judía verde > lechuga.
- La cantidad de destrío producido mostró una tendencia algo errática en los cultivos en función del sistema de producción. No obstante, en general, la producción ecológica originó mayor destrío que la producción integrada. Así, el aumento medio de destrío en los productos ecológicos fue del 36% en el conjunto de todos los cultivos.
- El efecto del sistema de producción sobre el peso medio de las piezas cosechadas resultó significativo únicamente en unos pocos casos (9 cosechas de las 27 obtenidas).

- Los contenidos de materia seca y macronutrientes en los productos cosechados en el periodo 2002-2005, registraron considerables variaciones en función del cultivo, campaña y sistema de producción. No obstante, las diferencias medias entre los dos sistemas de producción fueron reducidas.
- Y en el conjunto de las muestras correspondientes al periodo 1998-2006, los contenidos de materia seca y macronutrientes en la producción ecológica y producción integrada no mostraron diferencias significativas a nivel estadístico.
- Respecto a los balances simplificados de los macronutrientes (N, P, K y Mg) en los dos sistemas de producción comparados, se han constatado valores positivos (excedentes) en todos los nutrientes. En el sistema ecológico se obtuvieron mayores excedentes de nitrógeno y magnesio, atribuibles principalmente a las aportaciones del agua de riego, pero menores excedentes de potasio, y excedentes similares en el caso del fósforo
- El sistema de producción ecológica provocó, en los primeros ocho años del estudio (1998-2006) algunas modificaciones en las propiedades del suelo con respecto a la producción integrada. Resultaron destacables el aumento en el contenido de materia orgánica en la capa de 0-15 cm, con un incremento del 18%, así como los importantes aumentos registrados en las propiedades biológicas del suelo (biomasa microbiana, actividad fosfatasa alcalina y actividad deshidrogenasa), aunque las diferencias en estos tres últimos parámetros no resultaron estadísticamente significativas.

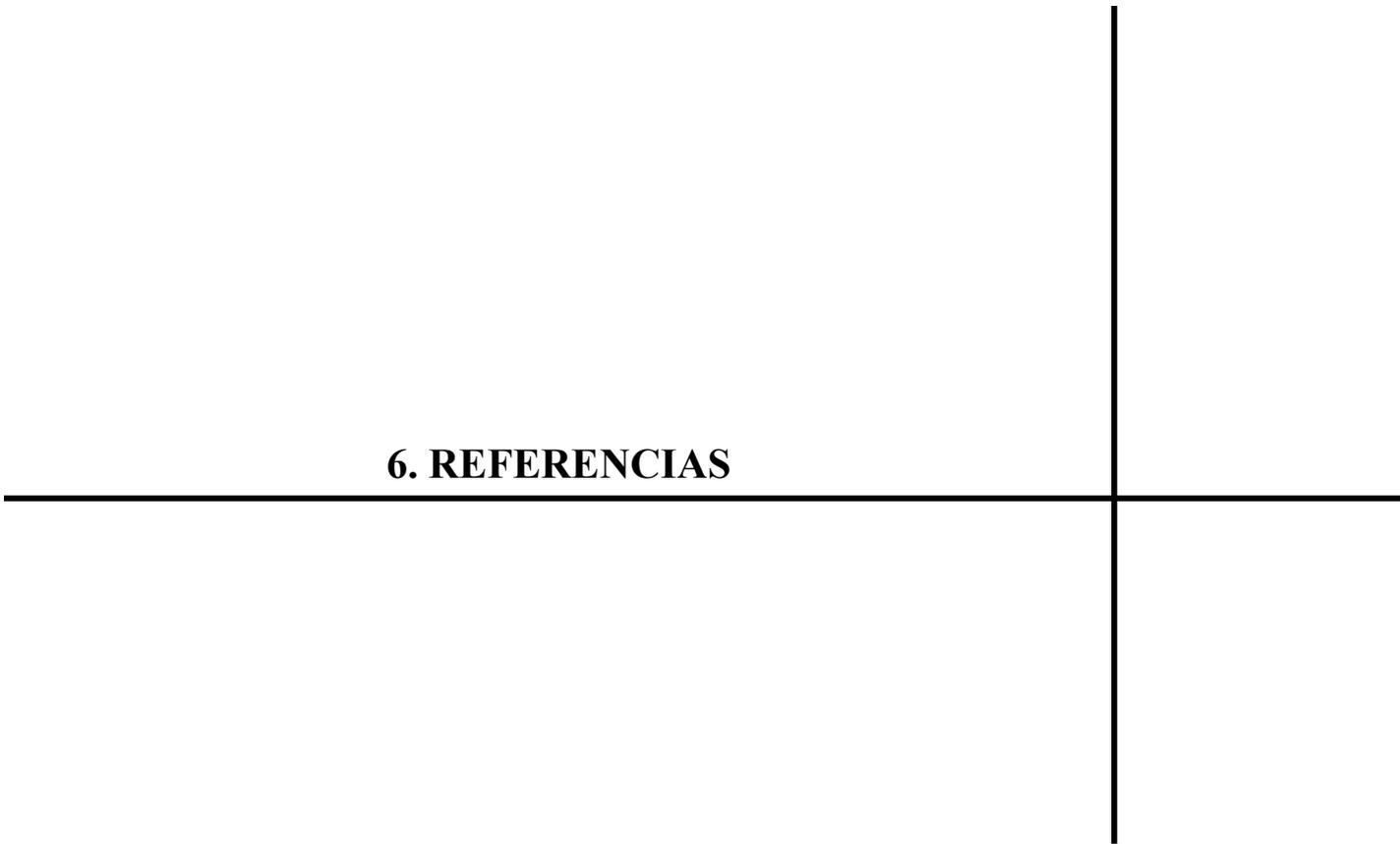
En relación a la comparación de las tres modalidades de gestión de los restos de cultivo:

- La respuesta (en en término de rendimiento) de los cultivos hortícolas a la modalidad de manejo de la biomasa residual del cultivo precedente resultó variable en función de la especie vegetal y campaña.
- El cultivo de hinojo fue el que mostró la respuesta mayor y más consistente a la incorporación de los restos del cultivo precedente, correspondiendo la menor respuesta al cultivo de coliflor.
- En el conjunto de todos los cultivos implantados en el estudio, el rendimiento relativo medio presentó unos valores similares en las tres modalidades de manejo de la biomasa residual.
- Tanto el destrío como el peso medio de las piezas cosechadas en los respectivos cultivos resultaron poco afectados por el manejo dado a los restos del cultivo precedente.
- La incorporación de los restos de cultivo, en comparación con su retirada fuera de la parcela, mostró una cierta tendencia a aumentar los valores de algunos parámetros del suelo en la capa 0-15 cm (materia orgánica, nitrógeno orgánico y potasio asimilable), pero en el caso de los indicadores de la actividad biológica (biomasa microbiana, actividad fosfatasa alcalina y actividad deshidrogenasa) el aumento resultó mucho más marcado.
- El parámetro biomasa microbiana resultó más efectivo que la materia orgánica, la actividad fosfatasa alcalina o la actividad

deshidrogenasa para reflejar las modificaciones en el suelo derivadas de la incorporación de los restos de los cultivos.

## **6. REFERENCIAS**

---





- Acosta-Martínez, V., Zobeck, T.M., Gill, T.E. and Kennedy, A.C. 2003. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils. *Biol. Fertil. Soils* 38: 216-227.
- AENOR 2001. Norma española UNE 155001-1 sobre hortalizas para consumo en fresco. Producción controlada. Parte 1: Requisitos generales. Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid.
- Aggarwal, R.K., Kumar, P. and Power, J.F. 1997. Use of crop residue and manure to conserve water and enhance nutrient availability and pearl millet yields in an arid tropical region. *Soil Tillage Res.* 41: 43-51.
- Ahrens, E., Elsaidy, S., Sanaras, I., Sanaras, F. and Wistinghansen, E.V. 1983. Significance of fertilization for the post-harvest condition of vegetables, especially spinach. In: Lockeretz, W. (Ed.) *Environmentally Sound Agriculture*, Praeger Pub., Santa Barbara, CA. p. 229-246.
- Albiach, R., Gómez, A., Pomares, F. and Canet, R. 1998. Efecto del tipo de fertilización sobre la actividad biológica del suelo en reconversión a la agricultura ecológica. *Actas del III Congreso de la SEAE*. P. 231-238.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F. 1999. Structure, organic components and biological activity in citrus soils under organic and conventional management. *Agrochimica* 43: 235-241.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Biores. Technol.* 77: 109-114.
- Alonso, A., Knickel, K. y Parrot, N. 2002. Influencia de los canales comerciales en el desarrollo de la agricultura ecológica en Europa. *Actas del V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*, Tomo II: 1409-1419.
- Altieri, M.A. 1993. *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Divn. Biol. Control, Univ. Calif., Berkeley, CA.
- Altieri, M.A. and Peter, R. 1995. Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies* 50:165-185.
- Altieri, M.A. and Rosset, P. 1995. *Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture*. Westview, Press Boulder, CO.
- Alvear, M.Z., López, R.E., Rosas, A.G. and Espinoza, N.N. 2006. Effects of herbicides applied in field conditions on some biological activities. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 6: 64-76.
- Anderclarke, C. and Hodges, R.D. 1988. The environmental effects of conventional and organic/biological farming systems. II. Soil ecology, soil fertility and nutrient cycles. *Biol. Agric. Hort.* 5: 223-287.
- Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.* 211-216.

- Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H. 1985. Determination of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.* 139: 297-302.
- Anderson, T.H. and Domsch, K.H. 1989. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Andrew, D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561- 586.
- ANECOOP 2001. Producción Integrada. Reglamentos Específicos. Coliflor y Brócoli. NATURANE. ANECOOP S. Coop., Valencia.
- Anstett, A. 1965. Les exportations de espèces légumières en maraichage de pleine terre. *Bull. Tec. D'Inf.* 200: 459-567.
- A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. Horwitz, W. (Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. Estudios FAO Riego y Drenaje 29. Rev.1. FAO, Roma.
- Barber, R. G. 1994. Rotaciones de cultivos para zonas con 1000 a 1300 mm de lluvia por año en el Departamento de Santa Cruz, Bolivia. Capítulo 13 del "Manual de Manejo de Suelos para Agricultores Mecanizados". Sarber, R.G. (Ed.). Santa Cruz, Bolivia.
- Barona, J.M. 1994. Extracción de nutrientes en el cultivo de la sandía sin pepitas con riego por goteo y por inundación. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.
- Beck, T. 1984. Methods and application domain of soil microbiological analysis at the Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) in Munich for the determination of some aspects of soil fertility. Proceedings of the Fifth (5<sup>th</sup>) Symposium on Soil Biology, Roman National Society of Soil Science, Bucharest. 13-20.
- Bello, A., López, J.A., Sanz, R., Escuer, M. and Herrero, J. 2000. Biofumigation and organic amendments. In: UNEP. Ed.), Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries. UNEP, Geneva. p. 113-141.
- Bergmann, W. (Ed.). 1992. Trastornos de la Nutrición de las Plantas. Diagnóstico Visual y Analítico. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- Bernhard, K. and Utz, R. 1993. Production of insecticides for experimental and commercial uses. In: Entwistle, P.F., Cory, J.S., Bailey, M.J. and Higgs, S. (Eds.), *Bacillus Thuringiensis*, an Environmental Biopesticide. Theory and Practice. John Wiley, and Sons, Inc., Hoboken, NJ. p. 255-267.
- Bessho, T. and Bell, C.L. 1992. Soil solid and solution phase changes and mung bean responses during amelioration of aluminium toxicity with organic matter. *Plant and Soil* 140: 183-196.

- Bindraban, P.S., Stoorvogel, J.J., Cansen, D.M., Vlaming, J. and Groor, J.J.R. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield and soil nutrient balance. *Agric. Environ. Manage.* 11713-719.
- Blanc, D., Gilly, G. et Leclerc, J. 1983. Appreciation de l'effet a long terme de la nature organique ou minerale de la fertilisation sur la composition de la laitue. *Sci. Aliments* 4: 267-272.
- Bossio, D.A., Scow, K.M., Cunalapa, N. and Graham, K.J. 1998. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology* 36: 1-12.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Monograph 9. Madison, Wi. p. 1149-1178.
- Brookes, P.C. and Ocio, J.A. 1988. Cambios en la biomasa microbiana y la materia orgánica del suelo tras el enterrado de paja de cereal. *Actas del II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*: 139-146.
- Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen in soils. A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17: 837-842.
- Bulluck, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K. and Ristaino, J.B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties of organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.* 19: 147-160.
- Burgo, M.P. 2001. Residuos orgánicos en cultivos de fresón y naranja: valoración agronómica y medio-ambiental. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Burkles, D. 1994. El frijol terciopelo: una planta nueva con historia. CIMMYT. Documento interno. México, D.F.
- Cánovas-Fernández, A. 1993. *Tratado de Agricultura Ecológica*. Instituto de Estudios Almerienses, Diputación de Almería, Almería.
- Carreres, R., González, P., Tomé, R., Sendra, J., Ballesteros, R., Fernández-Valiente, E., Quesada, A., Nieva, M. and Leganés, F. 1996. Effect of nitrogen rates on rice growth and biological nitrogen fixation. *J. Agricultural Sci.* 127: 295-302.
- Carrol, C.R.J., Vandermeer, H. and Rosset, P.M. (Eds). 1990. *Agroecology*. McGrawhill, New York.
- Casas, J.J. 1994. Extracción de nutrientes del cultivo de la coliflor en riego a surcos y a goteo. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola
- Casida, L.E., Klein, D.A. and Santoro, T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98: 371-376.

- Castillo, X. and Joergensen, R.G. 2001. Impact of ecological and conventional arable management systems on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. *Soil Biol. Biochem.* 13: 1591-1597.
- Causarano, H.J., Franzluebbers, A.J., Reeves, D.W. and Shaw, J.N. 2006. Soil organic carbon sequestration in cotton production systems of the Southeastern United States. *J. Environ. Qual.* 35: 1374-1383.
- Causeret, J. 1984. Nitrates, nitrites, nitrosamines: apports alimentaires et santé. *Ann. Fals. Exp. Chim.* 77: 131-151.
- Chaney, R.L. 1983. Potential effects of waste constituents on the food chain. In: *Land Treatment of Hazardous Wastes*. Parr, J.F., Marsh, P.B. and J.M. K1a, J.M. Noyes Data Corp, Park Ridge, N J.. p. 152-240.
- Chapman, M.D. and Pratt, P.F. 1961. Plant analysis. In : *Methods of Analysis for Soils, Plant and Waters*. University of California. Div. of Agric. Sc. p. 56-64.
- Chavez, J.C.D. 1986. Nutricao, adubacao e calagen do cafeiro. IAPAR. Circular (Londrina) 48.
- Clark, R.B. 1997. Arbuscular micorrhizal adaptation, spore germination, root colonization and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant and Soil* 192: 15-22.
- Clark, M.S., Horwarth, W.R., Shennan, C. and Scow, K.M. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from chemical and low input practices. *Agron. J.* 90: 662-671.
- Collins, H.P., Rasmussen, P.E. and Douglas, C.L. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 783-788.
- Copping, L.G. (Ed.). 1999. *The BioPesticides Manual*. First Edition. Farnham: British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK.
- Corbí, J. 1993. Extracción de nutrientes por el cultivo de lechuga en riego localizado y por surcos. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.
- Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. 1991. *Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización*. Caja Murcia, Murcia.
- Croft, B.A. 1990. *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides*. John Wiley & Sons, New York.
- Cross, J.V. 1996. The current status of integrated pome fruit production in western Europe and its achievements. *IOBC/WPRS Bulletin* 19: 1-10.
- Da Costa, M.B.B. 1991. *Adubacao verde no sul do Brasil*. Ed. M.B.B. Da Costa. Río de Janeiro, Brasil.

- Dalgaard, T., Heidmann, T. and Mogensen, L. 2002. Potential N-losses in three scenarios for conversion to organic farming in a local area of Denmark. *European J. of Agronomy* 16: 207-217.
- Delgado, M.A. 2003. Normas Técnicas de Producción Integrada en Brócoli, Coliflor y Coles. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia.
- Dick, R.P. 1992. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40: 25-36.
- Dinesh, R., Suryanarayana, M.A., Ghosha, S. and Sheeja, T.E. 2004. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil Till. Res.* 77: 69-77.
- Domínguez, A. 1993. Sanidad vegetal en agricultura ecológica. *Actas de las I Jornadas de Agricultura Ecológica*: 13-33.
- Domínguez, A. 1997. *Tratado de Fertilización*. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. Stewart, B.A. (Ed.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. 35: 3-21.
- Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., Van Bruggen, A.H.C. and Shennan, C. 1995. Fundamental difference between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecol. Appl.* 5: 1098-1112.
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P. and Sarrantonio, M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* 396: 262-265.
- Eivazi, F. and Tabatabai, M.A. 1977. Phosphatases in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9: 167-172
- El Titi, A., Boller, E.F. and Gendrier, J.P. 1995. Producción Integrada. Principios y Directrices Técnicas. IOBC/WPRS Bulletin of the International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants. West Palearctic Regional Section Vol. 18: 1-22.
- ERF (Environmental Research Foundation) 1991. The false promise of pesticides. *Rachel's Hazardous Waste News* 1: 119-135.
- Fancelli, A.L. 1990. *Adubacao verde*. Ed. A.L. Fancelli. Piracicaba: ESALQ/USP, Sao Paulo, Brasil.
- F.A.O. 1967. Report of the FAO Panel of Experts on Integrated Pest Control. FAO, Rome.
- Farré, R. y Frígola, A. 1987. Nitratos: aspectos bromatológicos, toxicológicos y analíticos. *Alimentaria XXIV*, 179: 15-21.

- Farrus, E. y Vadell, J. 2000. Actividad biológica del suelo en cultivos hortícolas sometidos a distintos tratamientos de fertilización. En: *Armonía entre Ecología y Economía*. Actas del IV Congreso de la SEAE. p. 8. IV. [www. Uib. es/catedra\\_iberamericana/publicaciones/seae/mesa6/cultivos.html](http://www.uib.es/catedra_iberamericana/publicaciones/seae/mesa6/cultivos.html)
- Fersini, A. 1976. *Agricultura Práctica*. 2ª ed. Editorial Diana, México, D.F.
- FIBL/IFOAO, 2009. *The World of Organic Agriculture. Statistics & Emerging Trends 2009*. BioFach. Nürnberg, Germany.
- Fink, M., Feller, C., Scharpf, H.C., Weier, U., Maync, A., Ziegler, J., Paschold, P.J. and Strohmeyer, K. 1999. Nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium contents of field vegetables – Recent data for fertilizer recommendations and nutrient balances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162: 71-73.
- Fließbach, A., Martens, R. and Reber, H.H. 1994. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1201-1205.
- Gakale, L.P. and Clegg, M.D. 1987. Nitrogen from soybean for dryland sorghum. *Agron. J.* 79: 1057-1061.
- García, C. y Hernández, T. 2000. Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. García, C. y Hernández, M.T. (Eds.). *CEBAS-CSIC, Murcia*. p. 11-39.
- García, C., Hernández, T., Costa, F. and Ceccanti, B. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by addition of organic wastes. *Waste Manage. Res.* 12: 457-466.
- Gasser, J.K.R. 1962. Mineralisation of nitrogen, sulphur and phosphorus from soils. *Report Welsh Soils Discussions*. 3: 26.
- Geiger, S.C., Manu, A. and Bationo, A. 1992. Changes in sandy Sahelian soil following crop residue and fertiliser additions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 172-177.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, M.C., Ciardi, C. and Ceccanti, B. 1992. Biochemical characterization of biological activity in very young mine soils. *Biol. Fertil. Soils* 13: 25-30.
- Gimeno, M. 1996. An overview of the latest development of microencapsulation for agricultural products. *J. Environ. Sci. Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes* 31: 407-420.
- GLOBAL G.A.P. (EUREPGAP), 2007. *Reglamento General Aseguramiento Integrado de Fincas. Versión 3.0-2\_Sep07*. <http://www.eurep.org>.
- Gómez, A. 2001. Comparación entre el cultivo ecológico y convencional con respecto al rendimiento, calidad de las cosechas y fertilidad del suelo en hortalizas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, H., Pomares, F., García, A., Baixauli, C., Aguilar, J.M., Porcuna, J.L., Verdú, M.J., Hermoso, A., Tarazona, F., Estela, M., Cabot, B., Campus, T., Gómez de Barreda, D. y

- coscollá, R. 2000. Evaluación de un sistema de producción ecológica de cultivos hortícolas en Valencia. *Phytoma – España* 124: 25-29.
- Gómez de Barreda, D. 1994. Contaminación de herbicidas residuales en aguas de pozo. *Actas del Congreso sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas*, Tomo 1: 351.
- Gösling, P. and Sheperd, M. 2005. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agri. Ecosys. Environ.* 105: 425-432.
- Granstedt, A. 1992. The potential for Swedish farms to eliminate the use of artificial fertilizers. A basic discussion centered around data on plant-nutrient conservation in Sweden between 1950 and 1980 and on plant-nutrient balances in conventional and alternative farming. *Am. J. Altern. Agric.* 6: 122-131.
- Greenland, D. 2000. Effects on soils and plant nutrition. In: Tinker, P.B. (Ed.), *Shades of Green-A Review of UK Farming Systems*. Royal Agricultural Society of England, Warwickshire. UK. p. 6-20.
- Grego, S., Colombo, L., De Cesare, F., Veteraino, A.M., Badalucco, L., Campiglia, E. and Caporali, F. 1993. Soil management in sustainable agriculture. In: Cook, H.F. and Lee, H.C. (Eds.), *Istituti di Ricerca Wye College Press*, London. p. 319-324.
- Gros, A. y Domínguez, A. 1992. *Abonos: Guía Práctica de la Fertilización*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Guiberteau, A. y Labrador, J. 1991. Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. Hojas Divulgadoras Nº 8. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Guither, H.D., Baumes, H.S. and Meyers, W.H. 1994. Farm prices, income, stability, and distribution. Food, Agriculture and Rural policy into the 21st Century: Issues and Trade-Offs. In: Hallberg, M.C., Spitze, G.F. and Ray, D.E.(Eds.) *Westview Press*, Boulder, CO. p. 223-236.
- Guzmán, T. J., Pozo, J.L. y Rodríguez, J. 1995. Empleo de diferentes leguminosas en sistemas sostenibles de cultivos. Programa y Resúmenes del II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica, La Habana, Cuba 9-10.
- Halberg, N., Verschuur, G. and Goodlass, G. 2005 Farm-level environmental indicators: an overview of green accounting systems for European farms. *Agri. Ecosys. Environ.* 105: 195-212.
- Hansen, B., Kristensen, E.S., Grant, P. Høgh-Jensen, H., Simmelsgaard, S.E. and Olesen, J.E. 2000. Nitrogen leaching from conventional modelling approach. *European J. of Agronomy* 13: 65-82.
- Haraldsen, T.K., Asdal, A., Grasdalen, C., Nesheim, L. and Ugland, T.N. 2000. Nutrient balances and yields during conversion to organic cropping systems on silt loam and clay soils in Norway. *Biol. Agric. Hort.* 17: 229-246.

- Heming, S.D. and Rowell, D.L. 1997. The estimation of losses of potassium and magnesium from chalk soils in southern England: laboratory studies. *Soil Use and Management* 13: 122-129.
- Herencia, J.F. 2005. Influencia de la fertilización orgánica en las propiedades físico-químicas y en la disponibilidad de nutrientes en suelos hortícolas de regadío y su repercusión en los cultivos. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Herridge, D.F. and Bergersen, F.J. 1988. Symbiotic nitrogen fixation. In: Wilson, J.R. (Ed.), *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Systems*. CAB International. Wallingford, UK. p. 45-65.
- Hewitt, T.I. and Katherine, R.S. 1995. Intensive agriculture and environmental quality: examining the newest agricultural myth Greenbelt. M.D. Henry and A.Wallace. Institute for Alternative Agriculture Institute Rodale. Pensilvania, USA.
- Hue, N.V. and Amien, I. 1989. Aluminium detoxification with green manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20: 1499-1511.
- Jacob, A. y Von Uesküll, H. 1973. Fertilización, Nutrición y Abonado de los Cultivos Tropicales y Subtropicales(4ª ed.). Eds . Euroamericanas México.
- Janzen, H.H. 2004. Carbon cycling in earth systems - a soil science perSpective. *Agric. Ecosys. Environ.* 104: 399-417.
- Johnston, A.E. and Goulding, K.W.T. 1990. The use of plant and soil analyses to predict the potassium suppling capacity of soil. In: *Development of K-Fertilizer Recommendation*. International Potash Research Institute, Berne. p. 177-204.
- Juergens-Gschwind, S. 1989. Ground water nitrates in other developed countries (Europe) - relationships to land use patterns. In: Foller, R.F., (Ed.), *Nitrogen Management and Ground water Protection*. Development in Agricultural and Managed Forest Ecology. p. Elsevier, Amsterdam. .75-138.
- Juste, C., Tauzin, J., Dureau, P. and Courpron, C. 1982. Nutrient losses in drainage water in sandy soils of the Gascony heathlands. Results of an 8 year lysimeter study. *Agronomie* 2: 91-97.
- Kaffka, S. and Koepf, H. 1989. A case study of the nutrient regime in sustainable farming. *Biol. Agric. Hort.* 6: 89-106.
- Kandeler, E., Tscherko, D. and Spiegel, H. 1989. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biol. Fertil. Soils* 343-351.
- Kandeler. E. and Eder, G. 1993. Effect of cattle slurry in grassland on microbial biomass and on activities of various enzymes. *Biol. Fertil. Soils* 249-254.

- Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no-till corn. *Soil Till. Res.* 31: 149-167.
- King, L.D. 1990. Soil nutrient management in the United States. In: Edwards, C.A., Lal, R. Sustainable Agricultural Systems, Madden, P., Miller, R.H. and House, G. (Eds.), Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA. p. 89-106.
- Kofoed, A.D. 1978. The potassium cycle in cropping systems. In: Potassium Research - Review and Trends. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Congress International Potash Institute. p. 435-449.
- Korsaeth, A. and Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79: 199-214.
- Krebs, A. V. 1991. *The Corporate Reapers: The Book of Agribusiness*. Essential Books, Washington, DC.
- Kretzschner, R.M., Hafner, H., Bationono, A. and Marschner, H. 1991. Long and short term effects of crop residues on aluminium toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. *And Plant and Soil* 136: 215-223.
- Kristensen, S. P., Mathiasen, J., Lassen, J., Madsen, M.B. and Reenberg, A. 1994. A comparison of the leachable inorganic nitrogen content in organic and conventional farming systems. *Acta Agric. Scan. B - Soil Plant Sci.* 44: 19-27.
- Kumar, K. and Goh, K.M. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamic, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy* 68: 197-319.
- Kurle, J.E. and Pflieger, F.L. 1996. Management influences on arbuscular mycorrhizal fungal species composition in a corn-soybean rotation. *Agron. J.* 88: 155-161.
- Labrador, J. 2002. *La Materia Orgánica en los Agrosistemas*. 2<sup>a</sup> ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Labrador, J., Porcuna, J.L. y Bello, A. 2002. *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. Agricultura Ecológica. Eumedia y Mundi-Prensa, Madrid.
- Lairon, D., Termine, E., Ribaud, P., Lafont, H. and Hauton, J.C. 1984a. Effects of organic and mineal nitrogen on yield and nutritive value of butterhead lettuce. *Qual. Plant Foods Hum. Nutri.* 34: 97-108.
- Lairon, D., Termine, E., Gautier, S., Trouilloud, M., Lafont, H. and Hauton, J.C. 1984b. Effects of organic and mineral fertilizations on the contents of vegetables in minerals, vitamin C and nitrates. In: *Proc. 5th IFOAM International Scientific Conference at the University of Kassel*. Verlagsgruppe Witzenhausen, Germany. p. 249-260.

- Lampkin, N. 1998. La nutrición de los cultivos. En: Agricultura Ecológica. Mundi-Presa Madrid. p. 51-83.
- Legaz, E. y Primo-Millo, E. 1992. Influencia de la fertilización nitrogenada en la contaminación de las aguas subterráneas. Levante Agrícola, 1º trimestre: 4-14.
- Liebhardt, W.C., Andrews, R.W., Culik, M.N., Harwood, R.R., Yanke, R.R., Radke, J.K. and Rieger-Swartz, S.I. 1989. Crop production during conversion from conventional to low-input methods. Agron. J. 81: 150-159.
- Liebig, M.A. and Doran, J.W. 1999. Impact of organic production practices on soil quality indicators. J. Environ. Qual. 28: 1601-1609.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1969. Equilibrium relationships of  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , and  $H^+$  with EDTA and DTPA in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:62-68.
- Loes, A.K. and Ogaard, A.F. 2001. Long-term changes in extractable soil phosphorus (P) in organic dairy farming systems. Plant and Soil 237: 321-332.
- Loomis, R.S. y Connor, D.J. 2002. Procesos del nitrógeno. En: Ecología de Cultivos. Productividad y Manejo en Sistemas Agrarios. Mudi-Prensa, Madrid. p. 215-248.
- Loué, A. 1988. Los Microelementos en Agricultura. Mundi-Prensa, Madrid.
- Madejón, E., López, R., Murillo, J.M. and Cabrera, F. 2001a. Agricultural use of three (sugarbeet) vinasse composts: effect on crop and on chemical properties of a soil of the Guadalquivir River Valley (SW Spain). Agric. Ecosyst. Environ. 84: 55-67.
- Madejón, E., Burgo, P., López, R., Murillo, J.M. and Cabrera, F. 2001b. Soil enzymatic response to addition of heavy metals with organic residues. Biol. Fertil. Soils 34: 144-150.
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296: 1694-1697.
- MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Marschner, P. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ª ed. Academic Press, London.
- Marschner, P., Kandeler, E. and Marschner, B. 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long term fertilizer experiment. Soil Biol. Biochem. 35: 453-461.
- Marull, J., Pinochet, J. and Rodríguez-Kábana, R. 1997. Agricultural and municipal compost residues for control of root-knot nematodes in tomate and pepper. Compost Sci. Util. 5: 6-15.
- Matthies, K. 1991. Qualitätserfassung pflanzlicher Produkte aus unterschiedlichen Düngungs- und Anbauverfahren. Dissertation, Gesamthochschule Kassel-Witzenhausen, Germany.

- Maynard, D.N. and Hochmuth, G.J. 1997. Knott's Handbook for Vegetable Growers. 4th Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Meek, B.D., Carter, D.I., Westermann, D.T., Wright, J.L. and Peckenpaugh, R.E. 1995. Nitrate leaching under furrow irrigation as affected by crop sequence and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 204-210.
- Melero, S. 2005. Propiedades químicas, biológicas y bioquímicas de suelos bajo dos tipos de prácticas agrícolas: ecológicas frente a convencional. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Mengel, K. and Steffens, D. 1982. Beziehung Zwischen Kationen/Anionen-Aufnahme von Rotklee und Protonenabscheidung der Wurzeln. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.* 145: 229-236.
- Miyasaka, S. 1984. Adubação orgânica, adubação verde e retacao de culturas no estado de Sao Paulo. S. Miyasaka, O.A. Camargo e P.C. Angelo. (2ed.). Campinas, Brasil.
- Monserrat-Delgado, A. 2003. Normas Técnicas de Producción Integrada en Brócoli, Coliflor y Coles. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia.
- Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. y Lindsay, W.L. 1983. Microelementos en Agricultura. AGT Editor S.A., México D.F.
- Mylonas, V.A. and McCants, C.B. 1980. Effects of humic and fulvic acids on growth of tobacco. 2. Tobacco growth and ion uptake. *J. Plant Nutrition* 2: 377-393.
- Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: *Soil Biota. Management in Sustainable Farming Systems*. Pankhursts, C.E., Doube, B.M., Gupta, V. S. R. and Grace, P.R., (Eds.), CSIRO, Victoria, Australia. p. 238-244.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B. and Grego, S. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: *Bollag, J. M. and Stotzky, G. Soil Biochemistry, Vol 6.* p. 293-355. (Eds.). Marcel Dekker, New York.
- Nannipieri, P., Landi, L. and Badalucco, L. 1995. La capacità metabolica e la qualità del suolo. *Rivista di Agronomia* 29: 312-316.
- National Research Council (NRC), 1989. *Alternative Agriculture*. National Academy Press. Washington, D.C.
- Navarro, S. y Navarro, G. 2003. *Química Agrícola: El Suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la Vida Vegetal*. 2ª edición. Mundi-Prensa, Madrid.
- Nolte, C. and Werner, W. 1994. Investigation on the nutrient cycle and its components of a biodynamically-managed farm. *Biol. Agric. Hort.* 10: 235-254.
- Oberson, A., Besson, J.M., Maire, N. and Sticher, H. 1996. Microbiological processes in organic P transformations in soil organic phosphorus in conventional and biological cropping systems. *Biol. Fertil. Soils* 23: 138-148.

- Ocio, J.A., Martínez, J. and Brookes, P.C. 1991. Contribution of straw-derived N following incorporation of several straws to soil. *Soil Biol. Biochem.* 23: 655-659.
- Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H.U., Besson, J.M., Dubois, D., Mader, P., Roth, H.R. and Frossard, E. 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional management. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 62: 25-35.
- Oenema, O., Kros, H. and de Vries, W. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European J. of Agronomy* 20: 3-16.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Circular No. 939. Washington, D.C.
- Owens, L.B., Edwards, W.N. and Van Keureo, R.W. 1994. Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass-legume pastures. *J. Environ. Qual.* 23: 752-758.
- Parham, J.A., Deng, S.P., Raun, W.R. and Johnson, G.V. 2002. Long-term cattle manure application in soil. I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. *Biol. Fertil. Soils* 35: 328-337.
- Parr, J.F. and Papendick, R.I. 1997. Soil quality: Relationship and strategies for sustainable dryland farming systems. *Annals of Arid Zones* 36: 181-191.
- Parris, K. 1998. Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: an OECD perspective. *Environ. Pollution* 102: 219-225.
- Pascual, J.A. 1995. Efectividad de los residuos orgánicos urbanos en la mejora de la calidad de suelos ácidos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Pascual, J.A., García, C., Hernández, T. and Ayuso, M. 1997. Changes in microbial activity of a soil amended with urban organic wastes. *Biol. Fertil. Soils* 24: 429-434.
- Pascual, J.A., Ros, M., Hernández, T. and García, C. 2001. Effect of long term monoculture on microbiological and biochemical properties in semiarid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 537-552.
- Paul, E.A. and Clark, E.E. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2<sup>nd</sup>ed. Academic Press, San Diego.
- Pérez-Sarmentero, J., Molina, A. y Colmeranes, R. 1994. Influencia del abonado con compost y fertilizantes solubles sobre la actividad enzimática del suelo y la calidad del cultivo de avena-veza en una finca de la alta montaña madrileña. En: *Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*. I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Toledo. p. 47-56.
- Perucci, P. 1992. Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse. *Biol. Fertil. Soils* 14: 54-60.

- Perucci, P., Bonciarelli, U., Santilocchi, R. and Bianchi, A.A. 1997. Effect of rotation, nitrogen fertilization and management of crop residues on some chemical, microbiological and biochemical properties of soil. *Biol. Fertil. Soils* 24: 311-316.
- Piamonte, R. 1993. Contribución al desarrollo de nuevos métodos para abono verde. *Agricultura Biológica, Alimentación y Salud (Bogotá)* 1: 17-21.
- Pimentel, D. and Andow, D.A. 1984. Pest management and pesticide impacts. *Insect Science and its Application* 5: 141-149.
- Pimentel, D. and Edwards, C.A. 1982. Pesticides and ecosystems. *BioScience* 32: 595-600.
- Pomares, F. y Albiach, R. 2005. Los residuos agrícolas y agroindustriales como soportes de producción en agricultura intensiva. En: Navarro, M. y Bustillo, J.M. (Eds.). *Tecnologías Aplicables a la Reutilización de Residuos Orgánicos, Agrícolas o Alimentarios*. Universidad de Burgos. p. 165-187.
- Pomares, F. y Canet, R. 2001. Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. En: Boixadera, J. y Teira, M.R. (Eds.). *Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos*. Universitat de Lleida. p. 1-15.
- Pomares, F., Tarazona, F., Estela, M., Bartual, R. and Arcinaga, I. 1995. Response of globe artichoke to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. *Agrochimica* 37: 111-121.
- Pomares, F., García, A. and Gómez, H. 2002a. A practical case in the Valencia Community (Spain). In: Sukkel, W. and Garcia Días, A. (Eds.), *Final Report on the VEGINECO project*. VEGINECO Project Report N° 1, p. 39-53. Applied Plant Research B.V., Wageningen.
- Pomares, F., Tarazona, F., Estela, M., Chaves, C., Baixauli, C., Aguilar, J. M. y Giner, A. 2002b. Efecto de diferentes tipos de fertilización (orgánica, mineral y órgano-mineral) en una rotación de cultivos hortícolas. En: *Memoria de Actividades de Fundación Cajarural de Valencia*. P. 392-395.
- Pomares, F., López, V., Tarazona, F., Estela, M., Chaves, C., Baixauli, C., Aguilar, J. M. y Giner, A. 2003a. Comparación entre la producción integrada y la ecológica en una rotación de hortalizas. *Actas del III Congreso Valenciano de Agricultura Ecológica*: 207-216.
- Pomares, F., Gómez, A., Baixauli, C. y Albiach, R. 2003b. Producción y balances de materia orgánica y nutrientes en dos rotaciones de hortícolas, sometidas a fertilización mineral, orgánica y órgano-mineral. *Proceedings 1er Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal*. Agrolatino, "Fertilización, Rentabilidad y Medi Ambiente", Barcelona. p. 134-137.
- Pomares, F., Baixauli, C., Aguilar, J.M., Giner, A., Núñez, A., Bartual, R., Tarazona, F., Estela, M. y Albiach, R. 2007a. Comparación entre la producción ecológica e integrada en una rotación de hortalizas durante el séptimo y octavo año de cultivo. *Memoria 2006. Resultados Ensayos Hortícolas*. Consellería de Agricultura/Fundación Ruralcaja, Valencia. p. 364-370.

- Pomares, F., Baixauli, C., Bartual, R. y Albiach, R. 2007b. La fertilización de la coliflor y brócoli. En: Maroto, J.V., Pomares, F. y Baixauli, C. (Eds.) El Cultivo de la Coliflor y el Brócoli. p. 199-249. Mundi-Prensa/Fundación Ruralcaja, Madrid.
- Pomares, F., Baixauli, C., Bartual, R. y Ribó, M. 2007c. El riego y la fertilización de la coliflor y brócoli. En: Maroto, J.V., Pomares, F. y Baixauli, C. (Eds.) El Cultivo de la Coliflor y el Brócoli. p. 157-198 (Eds). Mundi-Prensa /Fundación Ruralcaja, Madrid.
- Pomares, F., Baixauli, C., Bartual, R. y Verdú, M.J. 2007d. La producción integrada y ecológica en la coliflor y brócoli. En: Maroto, J.V., Pomares, F. y Baixauli, C. (Ed.), El Cultivo de la Coliflor y el Brócoli. p. 349-382. Mundi-Prensa/Fundación Ruralcaja, Madrid.
- Pomares, F., Baixauli, C., Aguilar, J.M., Chaves, C. y Ribó, M. 2007e. Respuesta de una rotación de hortalizas ecológicas y de producción integrada a diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivo. Actas del V Congreso Valenciano de Agricultura Ecológica: 21-26.
- Pomares, F., Baixauli, C., Aguilar, J.M. y Ribó, M. 2008. Respuesta de una rotación de hortalizas ecológicas y de la producción integrada a diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivo. *Agrícola Vergel*, enero. 25-30.
- Poudel, D.D., Horwath, W.R., Mitchell, J.P. and Temple, S.R. 2001. Impacts of cropping systems on soil nitrogen, storage and loss. *Agric. Systems* 68: 233-268. Pozo, J.L.M. 1998. Alternativas de manejo agronómico sostenible. Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencia. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez, "Cuba.
- Prats, J. 1970. *La Fertilization Raisonnée*. 2ª ed. Ministère de l'Agriculture Paris.
- Pulleman, M., Jongmans, A., Marinissen, J. and Bouma, J. 2003. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in The Netherlands. *Soil Use Management* 19: 157-165.
- Quenum, L.E., Albiach, M.R., Ribó, M., Estela, M., Canet, R., Baixauli, C., Aguilar, J.M. y Pomares, F. 2008a. Modificación de las propiedades del suelo provocada por diferentes modalidades de gestión de los restos de cultivos hortícolas bajo producción ecológica e integrada. Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. C.D – Posters. p. 9.
- Quenum, L.E., Ribó, M., Albiach, M.R., Estela, M., Canet, R., Baixauli, C., Aguilar, J.M. y Pomares, F. 2008b. Comparación de la producción ecológica e integrada de hortícolas en una experiencia de ocho años: estudio de las propiedades físico-químicas, químicas y biológicas del suelo. Actas del VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. C.D – Comunicaciones. p. 12.
- Quesada, F., Castilla, N. y Pozuelo, J.M. 1990. Extracción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) del cultivo de sandía al aire libre con diferentes técnicas de semiforzado. Actas del I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Vol. 1: 372-377.

- Ramade, F. 1995. *Elements d'Échange Appliquée : Action de l'Homme sur la biosphère*. Ediscience. Paris.
- Rasmussen, P.E., Almaras, R.R., Rohde, C.R. and Roager, N.C. Jr. 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 596-600.
- Reganold, J.P., Elliott, L.F. and Unger, Y.L. 1987. Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature* 330:370-372.
- Rennie, R.J. and Kemp, G.A. 1983a. N<sub>2</sub>-fixation in field beans quantified by 15N isotope dilution. I. Effect of strain of *Rhizobium phaseoli*. *Agron. J.* 75: 640-644.
- Rennie, R.J. and Kemp, G.A. 1983b. N<sub>2</sub>-fixation in field beans quantified by 15N isotope dilution. II. Effect of cultivars of beans. *Agron. J.* 75: 645-649.
- Ribó, M. 2003. *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Facultad de Farmacia.
- Ribó, M., Albiach, R., Gómez, A., Pomares, F., Canet, R. y Estela, M. 2004. Efectos de la fertilización orgánica sobre las propiedades químicas y la actividad biológica en suelos de cultivos hortícolas. *Actas del IV Congreso de la SEAE: (Abstract)*.
- Ribó, M., Gómez, A., Canet, R. y Pomares, F. 2007. Influencia de las técnicas de producción ecológica en algunos parámetros de calidad de las hortalizas. *Actas de Horticultura* 49: 139-162.
- Rice, C.W. 2006. Introduction to special section on greenhouse gases and carbon sequestration in agriculture and forestry. *J. Environ. Qual.* 35: 1338-1340.
- Richards, L.A. 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Dept. Agric. Handkook N° 60. USA.
- Rincón, L., Balsalobre, E., Sáez, J. y Madrid, R. 1991. Extracción de maconutrientes en cultivo de lechuga Iceberg. *Actas del II Congreso Nacional de Fertirrigación*. p. 213-220.
- Robertson, F.A., Myers, R.J.K. and Saffigna, P.G. 1993. Distribution of carbon and nitrogen in a long-term cropping system and permanent pasture system. *Aust. J. Soil Res.* 44: 1323-1336.
- Rosset, P.M. 1989. Cuba alternative agriculture during crisis. In: Trupp, L.A. (ed.). *New Partnerships for Sustainable Agriculture*, World Resources Institute, Washington DC. p. 19-25.
- Rosset, P. and Medea, B. 1994. *The Greening of the Revolution: Cuba's Experiment with Organic Agriculture*. Australia Ocean Press, Melbourne.
- Ruffo, M. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas del XI Congreso Nacional de AAPRESID, Tomo 1: 171-176*.

- Ruiz, J.C. 2002. Influencia del cambio de un sistema de nutrición mineral a orgánica en las propiedades de suelos hortícolas de regadío. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.
- Ruiz, J.C., Melero, S. and Herencia, J.F. 2000. Status microbiano del suelo en parcelas nutridas orgánica versus mineralmente. Actas del IV Congreso de la SEAE. p. 5. [www.uib.es/catedra/\\_iberoamericana/publicaciones/seae/mesa6/cultivos.html](http://www.uib.es/catedra/_iberoamericana/publicaciones/seae/mesa6/cultivos.html).
- Salam, A.K., Desvia, Y., Sutanto, E., 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). *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 45: 89-99.
- Sanz, M.J. 2002. La agricultura ecológica como sumidero de CO<sub>2</sub>. Sus efectos sobre el cambio climático. Actas del V Congreso de la SEAE y 1er Congreso Iberoamericano de Agroecología, Tomo 1: 65-71.
- Saña, J., More, J.C. y Cochí, A. 1996. La Gestión de la Fertilidad de los Suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Scheller, E. 1992. Balancing K-release through active nutrient mobilization with the help of a soil experiment with the example of a fodder crop. *Kongressband Gottingen*. p. 131-134.
- Scherer, H.W. 1993. Dynamics and availability of the non-exchangeable N-NH<sub>4</sub> – a review. *European J. of Agronomy* 2: 149-160.
- Schuphan, W. 1974a. Effects of the application of inorganic and organic manures on the market quality and on the biological value of agricultural products. *Qual. Plant Mater. Veg.* 21: 381-398.
- Schuphan, W. 1974b. Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments - results of 12 years experiments with vegetables (1960-1972). *Qual. Plant Foods Hum. Nutr.* 23: 333-358.
- Shiva, V. 1991. *The Violence of the Green Revolution. Third World Agriculture, Ecology and Politics.* Third World Network. Penang, Malaysia.
- Sempere, A., Oliver, J. C. and Ramos, C. 1993. Simple determination of nitrate in soils by second-derivate spectroscopy. *Journal of Soil Science* 44: 633-639.
- Smeek, N.E. 1985. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma* 36: 185-199.
- Smil, V. 1997. Global population and the nitrogen cycle. *Scientific American* 277: 58-63.
- Smith, J.I., Papendick, R.I., Bezdicek, D.F. and Lynch, J.M. 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management In: Blaine, F. (Ed.), *Soil Microbial Ecology.* Marcel Dekker, New York. p. 65-94.
- Smith, J.L. and Paul, E.A. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In: Bollag, J.M. and Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry.* Marcel Dekker, New York. p. 357-396.

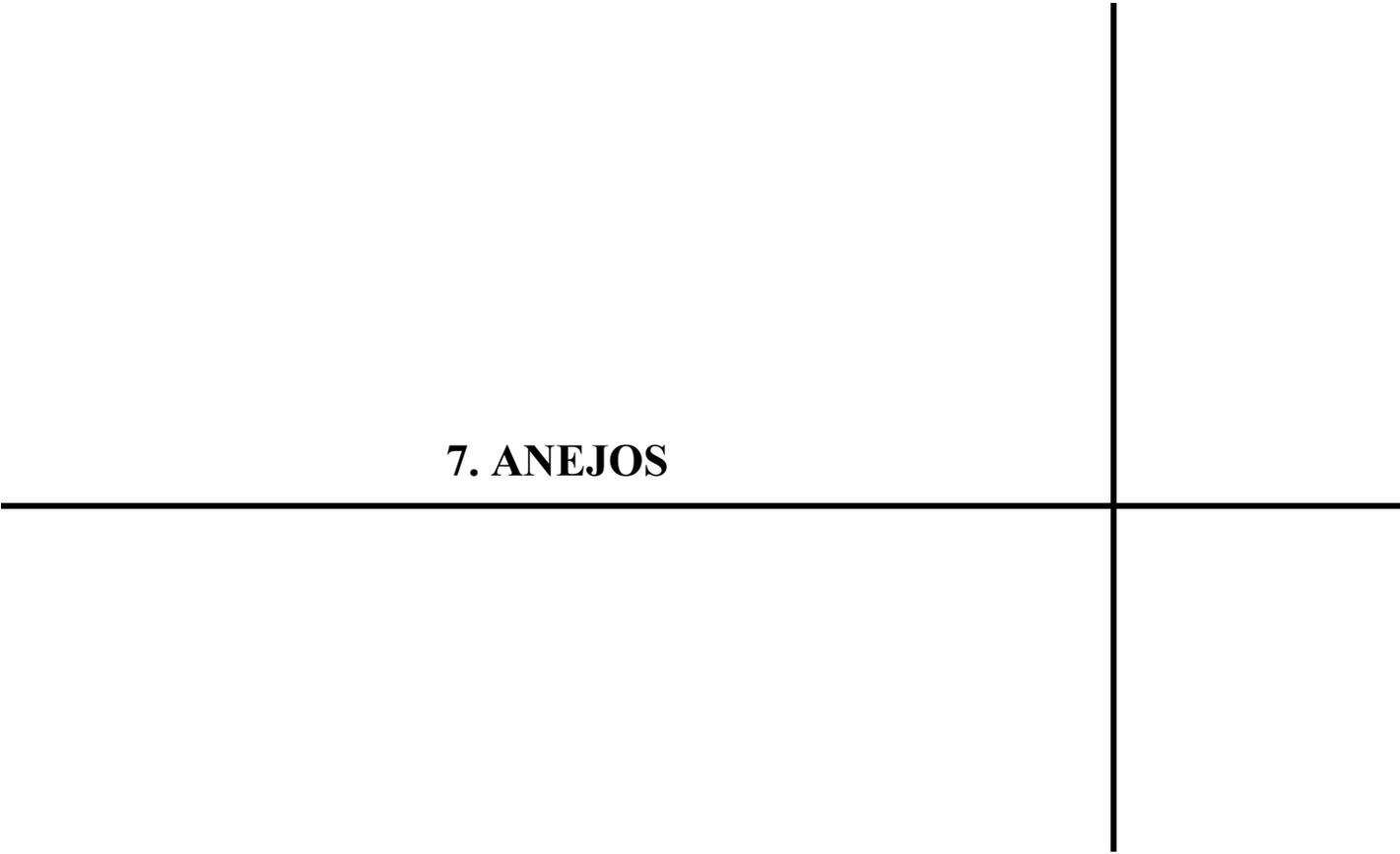
- Smith, J.L. and Paul, E.A. 1997. The role of type of vegetation on microbial biomass and activity. In: Mergusar, F. and Gantar, M. (Eds.), *Perspectives in Microbial Ecology. Proceeding of the IV International Symposium on Microbial Ecology Slovene Society for Microbial Ecology*, Ljubljana. p. 460-466.
- Smith, O.H., Petersen, G.W. and Needelman, B.A. 2000. Environment indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy* 69: 75-97.
- Staley, T.E. 1999. Soil microbial biomass alterations during the maize silage growing season relative to tillage method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1845-1847.
- Stanhill, G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agric. Ecosys. Environ.* 30: 1-26.
- Stefanic, G., Eliade, G. and Chirnogeanu, I. 1984. Researches concerning a biological index of soil fertility. In: Nemes, M.P., Kiss, S., Papacostea, P., Stefanic, G. and Rusan, M. (Eds.), *Fifth Symposium on Soil Biology. Romanian National Society of Soil Sciences*, Bucharest. p. 35-45.
- Stockdale, E.A., Lampkin, N.H., Hovi, M., Keatinge, R., Lennartsson, E.K.M., Macdonald, D.W., Padel, S., Tattersall, E.H., Wolfe, M.S. and Watson, C.A. 2001. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Adv. in Agron.* 70: 261-327.
- Strange, M. 1988. *Family Farming: A View Economic Vision*. University of Nebraska Press Lincoln. p. 78-103.
- Syers, J.K. 1998. Soil and plant potassium in agriculture. *Proceedings of the Fertilizer Society*. N° 411 Fertiliser Society, York.
- Swift, M.J. and Woome, P. 1991. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definition and measurement. In: Mulongoy, K, and Merckx, R. (Ed.). *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley & Sons, New York. p. 3-17.
- Tabatabai, M.A. and Bremner, J.M. 1969 Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- Tarazona, F., Bresó, M., Pomares, F. y Giner, J. 1997. Extracción de macronutrientes por dos (Jaerla y Desirée) variedades de patata en riego por goteo. *Actas del I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación*: 1030-1037.
- Tate, K.R. 1985. Soil phosphorus. In: *Soil Organic Matter and Biological Activity*. Vaughan, D. and Malcom, R.E. (Eds.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. p. 329-377.
- Thévenet, G. 1995. Du principe de vegetation à la fertilisation raisonnée. *Phytoma – La Defense des Vegetaux* 504: 56-60.
- Thorup-Kristensen, K. 2002. Utilising differences in rooting depth to design vegetable crop rotations with high nitrogen use efficiency (NUE). *Acta Hort.* 571: 249-254.

- Trasar-Cepeda, C., Leirós, C., Gil-Sotres, F. and Seoane, S. 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 de la Peña, M.C., García-Fernández, F. and Gil-Sotres, F. 2000. Biochemical properties of the soils of Galicia (N. W. Spain): Their use as indicators of soil quality. In: García, C. and Hernández, M.T (Eds.), *Research and Perspectives of Soil Enzymology in Spain*. Consejo Superior de Investigación Científicas, Madrid. p. 175-206.
- Trewavas, A. 2004. A critical assessment of organic farming and food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection* 23: 757-781.
- Urbano, P. 2002. *Fitotecnia. Ingeniería de la Producción Vegetal*. Mundi-Prensa, Madrid.
- USDA. 1980. *Report and Recommendations on Organic Farming*. U. S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Van Bol, V., Want, D. and Peeters, A. 1997. Comparison of three nutrient balance methods for nitrogen, phosphorus and potassium on an annual basis with a group of mixed-dairy organic farms. *Resource use in organic farming. Proceedings of the Third ENOF Workshop*. p. 6-13.
- Van Der Valk, H.C. and Koeman, J.H. 1988. *Ecological impact of pesticide use in developing countries*. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The Hague, The Netherlands.
- Vance, E.D., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Varis, E., Pietilä, L. and Koikkalainen, K. 1996. Comparison of conventional, integrated and organic potato production in field experiments in Finland. *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46: 41-48.
- Vereijken, P. 1994. *Designing prototypes. Progress reports of research network on integrated and ecological arable farming systems for EU associated countries (concerted action FAIR-3 CT 927705)*.
- Vetter, H., Kampe, W. and Ramfft, K. 1983. *Qualität pflanzlicher Nahrungsmittel. Ergebnisse dreijähriger Vergleichsuntersuchungen an Gemüse, Obst und Brot des modernen und alternativen Warenangebotes. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten* 7: 1-147.
- Viets, F.G. and Lindsay, W. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. In: Walsh, L.M. and Beaton, J.D. (Eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, Wi. p.
- Vogtman, H. 1983. La calidad de los productos agrícolas provenientes de distintos sistemas de cultivo. *Agricultura y Sociedad* 26: 69-105.

- Vos, J. and Van Der Putten, P. 2000. Nutrient cycling in a cropping system with tomato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and off-take of nitrogen, phosphorus and potassium. *Nut. Cycling Agroecosystems* 56: 87-97.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wander, M.M., Traina, S.J., Stinner, B.R. and Paters, S.E. 1994. Organic and conventional management effects on biologically active organic matter pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1130-1139.
- Warman, P.R. and Havard, K.A. 1997. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage. *Agri. Ecosys. and Environ.* 61: 155-162.
- Watanabe, F.S. and Olsen, S.R. 1965. Test of anascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677-678.
- Weiss, K. 1988. Vergleichende Bodenuntersuchungen in alternative und konventionell bewirtschafteten Betrieben. *Lebendige Erde* 3/88: 146-158.
- Wessel, J. and Mort, H. 1983. *Trading the Future: Farm Exports and the Concentration of Economic Power in Our Food System.* Food First Books, San Francisco, CA.
- Whitehead, D.C. 1995. *Grassland Nitrogen.* C.A.B. International, Wallingford.
- Wijnand, F.G., de Haan, J.J. and Sukkel, W. 2002. Methodology for prototyping integrated and organic farming systems. In: *Manual on Prototyping Methodology and Multifunctional Crop Rotation.* VEGNECO Project Report N° 2. Applied Plant Research BV, Wageningen.
- Xu, X.L., Wang, R., Xu, R.Y., Mridha, N.A.U. and Goyal, S. 2003. Yield and quality of leafy vegetables grown with organic fertilization. *Acta Hort.* 627: 25-30.
- Yan, F., Schubert, S. and Mengel, K. 1996. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. *Biol. Fertil. Soils* 23: 236-242.
- Ylaranta, T., Uusi-Kamppa, J. and Jaakkola, A. 1996. Leaching of phosphorus, calcium, magnesium and potassium in barley, grass and fallow lysimeters. *Acta Agric Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46: 9-17.
- Zhou, X., Mackenzie, A.F., Madramootoo, C.A., Kaluli, J.W. and Smith, D.L. 1997. Management practices to conserve soil nitrate in maize production systems. *J. Environ. Qual.* 26: 1369-1374.



## **7. ANEJOS**





## **7. ANEJOS (1-4)**

Los productos fitosanitarios aplicados y las dosis en los diferentes cultivos de ambos sistemas de producc

**Anejo 1.** Aplicaciones fitosanitarias durante la sexta campaña

5° año (2002) - Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Sandía					
23/7/02	- Azufre mojable	0,35	23/7/02	- Azufre mojable	0,35

5° año (2002) - Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Coliflor					
18/9/02	- Bacillus Th. + azucar	0,05 + 1	17/9/02	- (Metalaxil + mancozeb)+ clorpirifos	0,25 +0,15
27/9/02	- Oxicloruro cobre	0,4	27/9/02	- Oxicloruro cobre	0,4
31/10/02	- Bacillus Th. + azucar	0,05 + 1	31/10/02	- Oxicloruro cobre + lambda cihalotrin	0,35 +0,08
6/11/02	- Oxicloruro cobre + azadiractin	0,3 + 0,125			

5° año (2002) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Patata					
16/5/02	- Bacillus Th. + azucar	0,2 + 1	16/5/02	- Bacillus Th. + azucar	0,2 + 1

5° año (2002) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Hinojo					
31/10/02	- Aceite de verano	1,5	13/11/02	- Pirimicarb	0,1
13/11/02	- Aceite de verano	1,5			
22/11/02	- Aceite de verano + Bacillus Th + azucar	1,5 + 0,05 + 1			

5° año (2002) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Maíz dulce</b>					
30/4/02	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2	30/4/02	- Primicarb	0,1
22/5/02	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2	22/5/02	- Primicarb	0,1
3/6/02	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2	3/6/02	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2
12/6/02	- Bacillus Th + azúcar	0,05 + 1	12/6/02	- Bacillus Th + azúcar	0,05 + 1
18/6/02	- Bacillus Th + azúcar	0,05 + 1	18/6/02	- Bacillus Th + azúcar	0,05 + 1
27/6/02	- Bacillus Th + azúcar + jabón	0,05 + 1 + 0,2	27/6/02	- Bacillus Th. + azúcar + jabón	0,05 + 1 + 0,2

5° año (2002) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Alcachofa</b>					
22/8/02	- Azufre + azadiractin	0,3+0,125	22/8/02	- azufre + azadiractin	0,3+0,125
17/9/02	- Azufre + Bacillus + azúcar	0,3+0,05+0,5	17/9/02	- Lambda cihalotrin + pirifenox	0,08+0,03
26/9/02	- Azufre + Bacillus + azúcar	0,3+0,05+0,5	26/9/02	- Azufre + lambda cihalotrin	0,3+0,08
8/10/02	- Salvao + Bacillus + azúcar	1+0,15+0,25	3/10/02	- Ciromazina	0,04
31/10/02	- Bacillus + azúcar + jabón + azufre	0,05+1+0,2+0,3	8/10/02	- Ciromazina	0,04
5/11/02	- Aceite de verano	1,5	30/10/02	- Azufre + lambda cihalotrin	0,3+0,08
13/11/02	- Azufre + Jabón + Azadiractin	0,3+0,2+0,125	22/11/02	- Azufre + lambda cihalotrin	0,3+0,06
22/11/02	- Aceite + Bacillus + azúcar	1,5+0,05+1	18/12/02	- Pirifenox + cipermetrin	0,03+0,2
29/11/02	- Aceite + Bacillus + azúcar	1,5+0,05+1	3/1/03	- Miclobutanil	0,08
4/12/02	- Aceite + Bacillus + azúcar	1,5+0,05+1	24/1/03	- Azufre + pirifenox	0,1+0,04
18/12/02	- Aceite de verano	1,5 l/ha.	5/2/03	- azufre	0,3
3/1/03	- Azufre	0,3	4/3/03	- Deltametrin + heptenofos	0,05
24/1/03	- Azufre	0,3	14/3/03	- Miclobutanil	0,08
5/2/03	- Azufre	0,3	28/3/03	- Airifenox + pirimicarb	0,3+0,1
4/3/03	- Azufre + azadiractin	0,3+0,125	4/4/03	- Azufre	0,3
28/3/03	- Azufre + azadiractin	0,3+0,125	23/4/03	- Azufre + jabón	0,3+0,2
4/4/03	- Azufre + jabón + azadiractin	0,3+0,125+0,2	2/5/03	- Azufre + pirifenox	0,03+0,1
23/4/03	- Azufre + jabón + azadiractin	0,3+0,125+0,2			
2/5/03	- Aceite de verano	1,5			
9/5/03	- Azufre + azadiractin	0,3+0,125			

5° año (2002) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Judía</b>					
6/8/02	- Permanganato potasio	10 Kg/ha	6/8/02	- Permanganato potasio	10 Kg/ha
21/8/02	- Azufre + Bacillus + azúcar	0,3 + 0,05 + 1	21/8/02	- Fenbutestan + Bacillus Th + azúcar	0,1 + 0,05 + 1
30/8/02	- Azufre + Bacillus + azúcar	0,3 + 0,05 + 1	30/8/02	- Azufre + Bacillus Th + azúcar	0,3 + 0,05 + 1

5° año (2002) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Lechuga</b>					
31/10/02	- Bacillus Th + azúcar	0,05 + 1	31/10/02	- Lambda cihalotrin	0,08
5/11/02	- Aceite verano	1,5	22/11/02	- Lambda cihalotrin	0,08
19/11/02	- Aceite verano + Bacillus Th. + azúcar	1,5 + 0,05 + 1	4/12/02	- Deltametrin + heptanofos	0,05
29/11/02	- Aceite verano + Bacillus Th. + azúcar	1,5 + 0,05 + 1	18/12/02	- Improdiona	0,15
4/12/02	- Aceite verano + Bacillus Th. + azúcar	1,5 + 0,05 + 1			

**Anejo 2.** Aplicaciones fitosanitarias durante la sexta campaña

6° año (2003) – Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Patata</b>					
23/4/03	-Oxicloruro cobre	0,35	7/4/03	-Metil clorpirifos	3,5 l/ha
			23/4/03	- Oxicloruro cobre	0,35
<b>11,5</b>					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Hinojo</b>					
-	No se realizaron	-	-	No se realizaron	-
6° año (2003) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Maíz dulce</b>					
8/4/03	- Azadiractin	0,125	17/4/03	- Azadiractin	0,125
17/4/03	- Azadiractin	0,125	23/4/03	- Metaldehido	
23/4/03	- Azadiractin	0,125	21/5/03	- Bacillus th + azúcar + jabón	0,1 + 0,6 + 0,2
23/4/03	- Metaldehido		28/5/03	- Pririmicarb + jabón + Bacillus th + azúcar	0,1 + 0,2 + 0,05 + 0,6
30/4/03	- Azadiractin	0,125	4/6/03	- Bacillus th + azúcar + jabón	0,1 + 0,6 + 0,2
14/5/03	- Azadiractin	0,125	12/6/03	- Bacillus th + azúcar	0,1 + 0,6
21/5/03	- Bacillus th + azúcar + jabón	0,1 + 0,6 + 0,2			
27/5/03	- Jabón + extracto ajo + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,5 + 0,05 + 0,6			
4/6/03	- Bacillus th + azúcar + jabón	0,1 + 0,6 + 0,2			
12/6/03	- Bacillus th + azúcar	0,1 + 0,6			

6° año (2003) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Alcachofa</b>					
1/8/03	- Bacillus th + azufre	0,05 + 0,3	12/8/03	- Azufre + Bacillus th	0,3 + 0,1
12/8/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,3	20/8/03	- Metaldehido + clorpirifos	
1/9/03	- Azufre + azadiractin	0,3 + 0,125	29/8/03	- Miclobutanil + clorpirifos	0,03 + 0,15
11/9/03	- Azufre + azadiractin + Bacillus th	0,3 + 0,125 + 0,06	11/9/03	- Azufre + Bacillus th	0,3 + 0,06
17/9/03	- Bacillus th + azadiractin	0,06 + 0,125	12/9/03	- GA3	0,19
25/9/03	- Azufre + Bacillus th	0,3 + 0,1	26/9/03	- GA3	0,19
1/10/03	- Bacillus th + azadiractin	0,1 + 0,125	29/9/03	- Cipermetrin + Bacillus th + ciromazina	0,1 + 0,1 + 0,04
8/10/03	- Bacillus th + azadiractin	0,1 + 0,125	8/10/03	- Azufre + lambda cihalotrin	0,3 + 0,08
17/10/03	- Bacillus th + azadiractin + Aceite verano	0,1 + 0,125 + 0,3	10/10/03	- GA3	0,19
4/11/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,2	23/10/03	- Cipermetrin + triclofon	0,1 + 0,3
14/11/03	- Bacillus th	0,1	7/11/03	- Clorpirifos	
20/11/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,3	20/11/03	- Miclobutanil + Bacillus th	0,04 + 0,1
27/11/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,3	4/12/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,3
5/12/03	- Bacillus th + azufre	0,1 + 0,3	24/12/03	- Bacillus th + azoxystrobin	0,08 + 0,08
24/12/03	- Bacillus th + azufre	0,08 + 0,3	9/1/04	- Azufre	0,3
9/1/04	- Azufre	0,3	23/1/04	- Bacillus th + azufre + azúcar	0,1 + 0,3 + 1
23/1/04	- Bacillus th + azufre + azúcar	0,1 + 0,3 + 1	6/2/04	- Pirimicarb + azufre	0,125 + 0,3
6/2/04	- Azufre + azadiractin	0,3 + 0,125	5/3/04	- Azadiractin + azufre	0,125 + 0,3
5/3/04	- Azufre + azadiractin	0,3 + 0,125	14/4/04	- Azadiractin + azufre	0,125 + 0,3
29/4/04	- Azufre + azadiractin	0,3 + 0,125	29/4/04	- Azadiractin + azufre	0,125 + 0,3
13/5/04	- Azufre + azadiractin + jabón	0,2 + 0,125 + 0,2	13/5/04	- Pirimicarb + azufre	0,1 + 0,2
26/5/04	- Azufre + azadiractin + jabón	0,2 + 0,125 + 0,2	26/5/04	- Azufre + azadiractin + jabón	0,2 + 0,125 + 0,2

6° año (2003) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Apio					
11/9/03	- Bacillus th + azadiractin	0,06 + 0,125	16/9/03	- Ciromazina + pirimicarb	0,04 + 0,1
17/9/03	- Bacillus th + azadiractin	0,06 + 0,125	29/9/03	- Cipermetrin + Bacillus th + ciromazina	0,1 + 0,1 + 0,04
1/10/03	- Bacillus th + azadiractin	0,1 + 0,125	3/10/03	- Bacillus th + Ciromazina	0,1 + 0,04
8/10/03	- Bacillus th	0,1	17/10/03	- Ciromazina + Bacillus th + Aceite verano	0,04 + 0,1 + 0,2
23/10/03	- Bacillus th + azadiractin + Aceite verano	0,1 + 0,125 + 0,3	6/11/03	- Ciromazina + Bacillus th + Aceite verano	0,04 + 0,1 + 0,2
6/11/03	- Bacillus th + Aceite verano	0,1 + 0,3	20/11/03	- Bacillus th + Aceite de verano	0,1 + 0,3
14/11/03	- Bacillus th	0,1	28/11/03	- Bacillus th + Aceite de verano	0,1 + 0,3
20/11/03	- Bacillus th + Aceite verano	0,1 + 0,3	21/1/04	- Polioxina-B	0,3
28/11/03	- Bacillus th + Aceite verano	0,1 + 0,3	29/1/04	- Clortalonil	0,3

6° año (2003) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Sandía					
28/5/03	- Azadiractin	0,125	10/6/03	- Pimetrozina + jabón	0,04 + 0,2
4/6/03	- Azadiractin	0,125	8/7/03	- Azoxystrobin + hexitiazox	0,08 + 0,075
18/6/03	- Azadiractin	0,125	23/7/03	- Azufre	0,3
10/7/03	- azufre + Bacillus th	0,3 + 0,05			
23/7/03	- Azufre	0,3			

6° año (2003) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Coliflor</b>					
17/9/03	- Oxiclورو cobre	0,3	16/9/05	- Metalaxil + mancozeb	0,3
25/9/03	- Bacillus th + azadiractin	0,1 + 0,125	30/9/03	- (Metalaxil + Mancozeb) + cipermetrin	0,3 + 0,1
1/10/03	-Oxicloruro cobre + azadiractin	0,3 + 0,125	23/10/03	- (Metalaxil + Mancozeb) + malation	0,3 + 0,3
24/10/03	-Bacillus th	0,1	3/11/03	- (Metalaxil + Mancozeb) + Bacillus th	0,3 + 0,08
4/11/03	-Oxicloruro cobre	0,3	21/11/03	- Oxiclورو cobre + triclорfon	0,4 + 0,3
20/11/03	- Bacillus th	0,1			

**Anejo 3.** Aplicaciones fitosanitarias durante la séptima campaña

7° año (2004) – Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Maíz dulce</b>					
27/4/04	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2	27/4/04	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2
18/5/04	- Azadiractin + jabón	0,125 + 0,2	18/5/04	- Pirimicarb	0,1
1/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón + azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1	1/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón +azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1
9/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón + azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1	9/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón +azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1
17/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón + azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1	17/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón +azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1
22/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón + azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1	22/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón +azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1
30/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón + azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1	30/6/04	- Bacillus th + azadiractin + jabón +azúcar	0,1 + 0,1 + 0,2 + 1

7° año (2004) – Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Alcachofa</b>					
10/9/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1	5/8/04	- Pencicuron	
13/9/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1	10/9/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1
6/10/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar + jabón	0,1 + 0,25 + 1 + 0,2	13/9/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1
3/11/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1	6/10/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar + jabón	0,1 + 0,25 + 1 + 0,2
9/11/04	- Garrafa + Bacillus th + azúcar	10 kg + 0,5 kg + 1 kg	3/11/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1
11/11/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1	9/11/04	- Garrafa + Bacillus th + azúcar	10 kg + 0,5 kg + 1 kg
10/3/05	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1	11/11/04	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1
15/4/05	- Bacillus th + azufre + azúcar	0,1 + 0,2 + 1	10/3/05	- Bacillus th + azadiractin + azúcar	0,1 + 0,25 + 1
6/5/05	- Azufre + jabón + azúcar	0,3 + 0,2 + 0,075	15/4/05	- Bacillus th + azufre + azúcar	0,1 + 0,2 + 1
			6/5/05	- azufre + jabón + Bacillus th	0,3 + 0,2 + 0,075

7° año (2004) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Apio</b>					
16/9/04	- Azadiractin + Bacillus th + azúcar	0,125 + 0,1 + 1	16/9/04	- Ciromazina + Bacillus th + azúcar	0,04 + 0,1 + 1
29/9/04	- Azadiractin + Bacillus th + azúcar	0,125 + 0,1 + 1	29/9/04	- Ciromazina + Bacillus th + azúcar	0,04 + 0,1 + 1
27/10/04	- Oxiclورو cobre + Azadiractin	0,4 + 0,125	27/10/04	- Ciromazina + Polioxina B	0,04 + 0,2
16/11/04	- Oxiclورو cobre + Azadiractin	0,4 + 0,125	16/11/04	- Clortalonil	0,25

7° año (2004) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Sandía					
9/6/04	- Aceite verano	1	9/6/04	- Pimetrozina	0,06
5/7/04	- Algarroba + azúcar + Bacillus th	1 kg + 50 g + 20 g	5/7/04	- Algarroba + azúcar + Triclorfon	1 kg + 50 g + 30 g

7° año (2004)- Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Coliflor					
4/10/04	- Bacillus th + azúcar + Azadiractin	0,1 + 1 + 0,125	4/10/04	- Alfa cipermetrin	0,04
6/10/04	- Bacillus th + azúcar + Azadiractin	0,1 + 1 + 0,125	6/10/04	- Bacillus th + azúcar + Azadiractin	0,1 + 1 + 0,125
14/10/04	- Bacillus th + azúcar + Azadiractin	0,1 + 1 + 0,125	14/10/04	- Oxicloruro cobre + lambda cihalotrin	0,4 + 0,06
19/10/04	- Oxicloruro cobre + Azadiractin	0,4 + 0,125	19/10/04	- Bacillus th + azúcar + Azadiractin	0,1 + 1 + 0,125
25/10/04	- Aceite verano	1,2	26/10/04	- lambda cihalotrin + (Metalaxil + Mancozeb)	0,06 + 0,2
3/11/04	- Aceite verano + Bacillus th + azúcar	1,4 + 0,1 + 1	4/11/04	- Oxicloruro cobre + lambda cihalotrin	0,4 + 0,08
9/11/04	- Aceite verano + Bacillus th + azúcar	1,2 + 0,1 + 1	16/11/04	- (Metalaxil + Mancozeb) + Bacillus th + Azadiractin + azúcar	0,2 + 0,1 + 0,125 + 1
16/11/04	- Oxicloruro cobre + Azadiractin	0,3 + 0,125	4/10/04	- Alfa cipermetrin	0,04

7° año (2004) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Patata					
-	No realizada	-	20/4/05	- Metil clorpirifos	3,5 l/ha

7° año (2004) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Hinojo					
-	No realizada	-	-	No realizada	-

**Anejo 4.** Aplicaciones fitosanitarias durante la octava campaña

8° año (2005) – Parcela A					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Apio</b>					
21/9/05	- Bacillus th + azúcar	0,1 +1	21/9/05	- Bacillus th + azúcar	0,1 +1
26/9/05	- Aceite	1,5	26/9/05	- Alfacipermetrin	0,04
30/9/05	- Aceite	1,5	30/9/05	- Ciromazina + Polioxina	0,04+0,3
7/10/05	- Oxicloruru cobre	0,4	7/10/05	- Oxicloruro + Alfacipermetrin	0,4+0,04
8/11/05	- Oxicloruru cobre	0,4			
8° año (2005) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Sandía</b>					
27/5/05	- Aceite	1,5	27/5/05	- Pimetrozina	0,12
1/6/05	- Aceite	1,5	1/6/05	- Pimetrozina+Azoxistrobin	0,12+0,08
23/6/05	- Azufre	0,3	23/6/05	- Azufre	0,3
8° año (2005) – Parcela B					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Coliflor</b>					
27/5/05	- Bacillus th + azúcar	0,1 + 1	21/5/05	- Bacillus th + azúcar	0,1 + 1
1/6/05	- Oxicloruro cobre	0,4	7/10/05	- Oxicloruro cobre	0,4
23/6/05	- Oxicloruro cobre	0,4	8/11/05	- Oxicloruru cobre + Alfacipermetrin	0,4 + 0,04

8° año (2005) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Patata					
29/4/05	Bacillus th + azúcar	5l/ha + 1	26/4/05	Permanganato potasico	10 kg/ha
18/5/05	Bacillus th + azúcar	5l/ha + 1	26/4/05	Metil clopirifos	3 l/ha
			29/4/05	Bacillus th + azúcar	5l/ha + 1
			18/5/05	Bacillus th + azúcar	5l/ha + 1

8° año (2005) – Parcela C					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
Hinojo					
-	No realizada	-	-	No realizada	-

8° año (2005) – Parcela D					
Fecha	Sistema Ecológico		Fecha	Sistema Integrado	
	Principio activo	Dosis (%)		Principio activo	Dosis (%)
<b>Alcachofa</b>					
16/6/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	16/6/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1
26/8/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	26/9/05	- Penconazol + Ciromazina + Bacillus th + azúcar	0,04 + 0,03 + 0,05 + 1
5/9/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	5/9/05	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
21/9/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	22/10/05	- Bifentrin + Polioxina B	0,08 + 0,3
5/10/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	6/10/05	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
11/10/05	- Azufre	1,5	25/10/05	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
14/10/05	- Azufre	1,5	18/11/05	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
21/10/05	- Azufre	1,5	19/1/05	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,3
25/10/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	16/2/06	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
27/10/05	- Bacillus th + azúcar + Garrafa	20 g + 50 g 1kg	10/3/06	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1
18/11/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1	24/3/06	- Alfacipermetrin + Miclobutanil	0,04 + 0,04
25/11/05	- Aceite	1,5	7/4/06	- Azadiractin + azufre	0,13 + 0,2
14/12/05	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1			
19/1/06	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1			
10/3/06	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1			
16/3/06	- azufre + Bacillus th + azúcar	0,2 + 0,1 + 1			
24/3/06	- Azadiractin + azufre	0,13 + 0,3			
7/4/06	- Azadiractin + azufre	0,13 + 0,2			

