

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

BALANCE DE MACRONUTRIENTES Y MATERIA
ORGÁNICA EN EL SUELO DE AGROSISTEMAS
HORTÍCOLAS CON MANEJO INTEGRADO ECOLÓGICO.

MARTA RIBÓ HERRERO

UNIVERSITAT DE VALENCIA
Servei de Publicacions
2004

Aquesta Tesi Doctoral va ser presentada a València el dia 23
d'Abril de 2004 davant un tribunal format per:

- D. José Vicente Maroto Borrego
- D. Bernardo Pascual España
- D. Jesús Pérez Sarmentero
- D^a. Ingrid Walter
- D^a. Carmen Antolín Tomás

Va ser dirigida per:

Dr. D. Fernando Pomares

Dr. D. Rodolfo Canet

©Copyright: Servei de Publicacions
Marta Ribó Herrero

Depòsit legal:

I.S.B.N.:84-370-6008-7

Edita: Universitat de València
Servei de Publicacions
C/ Artes Gráficas, 13 bajo
46010 València
Spain
Telèfon: 963864115

**UNIVERSIDAD DE VALENCIA
FACULTAD DE FARMACIA**

**BALANCE DE MACRONUTRIENTES Y
MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO DE
AGROSISTEMAS HORTÍCOLAS CON
MANEJO INTEGRADO Y ECOLÓGICO**

TESIS DOCTORAL

Dirigida por
Fernando Pomares García
Rodolfo Canet Castelló

Presentada por
Marta Ribó Herrero, 2003

*Departamento de Recursos Naturales
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)*

El día de mi cumpleaños, mi sobrina me regaló un bonsái y un libro de instrucciones para cuidarlo. Coloqué el bonsái en la galería, con los demás tiestos, y conseguí que floreciese. En otoño aparecieron entre la tierra unos diminutos insectos blancos, pero no parecía perjudicar al bonsái. En primavera, una mañana, a la hora de regar, me pareció vislumbrar algo que revoloteaba entre las hojitas. Con paciencia y una lupa, acabé descubriendo que se trataba de un pájaro minúsculo. En poco tiempo el bonsái se llenó de pájaros que se alimentaban de los insectos. A finales de verano, escondida entre las raíces del bonsái, encontré una mujercita desnuda. Espiándola con sigilo, supe que comía los huevos de los nidos. Ahora vivo con ella, y hemos ideado el modo de cazar a los pájaros. Al parecer, nadie en casa sabe dónde estoy. Mi sobrina, muy triste por mi ausencia, cuida mis plantas como un homenaje al desaparecido. En uno de los otros tiestos, a lo lejos, hoy me ha parecido ver la figura de un mamut.....

José María Merino

Agradecimientos

Tener que hacer un recuento de la cantidad de gente que ha pasado por mi vida y me ha ido dando pequeñas o grandes pinceladas con las que he ido construyendo este trabajo se me hace una tarea muy difícil....digamos que una serie de casualidades hicieron que entrara en el tema de la agricultura ecológica: un extraño curso acerca de algo que se denominaba “ecología política”, conversaciones en la cafetería de una universidad que nunca era la mía, reflexiones nocturnas, visiones apocalípticas de que el mundo iba a estallar si no se hacía algo inmediatamente ...todo ello, conjugado con el amor a las plantas que ya sentía gracias a los viajes imaginarios en los que me sumergía mi profesor de ecología vegetal Manuel Costa, y al que todavía le agradezco que me enseñara que la ciencia y la poesía pueden ir cogidas de la mano.

De esta manera salté de las pírcimas farmacéuticas a un mundo totalmente desconocido para mí como era el de la agronomía. Entré en el IVIA con pies temblorosos y con un saco de preguntas que hacer a mi espalda. Menos mal que siempre estuvieron cerca mis directores de tesis, Fernando Pomares y Rodolfo Canet, para responder a mis dudas y no permitir que mis tormentas se convirtieran en naufragio.

Poco a poco, empecé a desenvolverme en el laboratorio y me fui familiarizando con probetas, espectros y demás artilugios, siempre bajo la mirada paciente de Bea, de la que me costó la vida separarme, del Duo Dinámico: Alberto y Humberto, que llenaron de sonrisas mi primera etapa, de Elena, que cuando pesaba a mi lado no dejaba de acidificar el ambiente, trastornando continuamente el pHmetro, de Paco y María...Con ellos aprendí que si vas deprisa, el río se apresura, y si vas despacio el agua se remansa...

De la segunda etapa lo que más recordaré es una habitación de los Hermanos Marx, y a Eloy, con sus “dulcitas” palabras y nuestras recetas de cocina, a Crispis sacándome de mis dudas relacionadas con la química y resolviendo problemas irresolubles, a Rafa dándome animitos, a Vicent alborotándolo todo con su vitalidad, a Julio y su “que grande eres”, a Reme, ayudándome en mis cortocircuitos con el ordenador y provocándome con mis peculiares gustos, etc. Gracias a ellos las pequeñas dificultades con las que me fui encontrando se resolvieron como por arte de magia.

Y cómo no, tengo que agradecer el apoyo incondicional que he tenido de mis padres, que siempre han estado a mi lado para que sacara todo esto adelante; de Ximo, Carmen y David, que han tenido que aguantar mis malos humores y mi estresante manera de vivir las cosas, de mi abuela, siempre interesada en cuándo acabaré el “libro” (como dice ella) y de todos mis amigos, que me han levantado tantas veces dibujándome sonrisas cuando el optimismo con el que suelo ver las cosas me daba esquinazo.

Indice

Objetivos	15
Introducción	19
La agricultura intensiva convencional y su problemática	21
La agricultura sostenible como respuesta	26
Concepto de sostenibilidad	26
La agricultura ecológica	28
Definición y objetivos	28
Técnicas de cultivos	29
Estado actual y perspectivas futuras	30
La producción integrada	31
Definición y objetivos	31
Técnicas de cultivos	32
Estado actual y perspectivas futuras	33
Fertilidad del suelo y nutrición de los cultivos en agricultura sostenible	35
La materia orgánica del suelo	36
Importancia de la materia orgánica	38
La materia orgánica en agricultura sostenible	40
Los nutrientes esenciales para las plantas	41
Nitrógeno	42
El nitrógeno en el suelo	42
Fuentes de nitrógeno en agricultura sostenible	43
Fósforo	45
El fósforo en el suelo	45

Fuentes de fósforo en agricultura sostenible	47
El potasio	48
El potasio en el suelo	48
Fuentes de potasio en agricultura sostenible	50
El magnesio	50
El magnesio en el suelo	51
Fuentes de magnesio en agricultura sostenible	51
Los balances de nutrientes y materia orgánica	52
Balance de nutrientes	52
Balance de materia orgánica	54
Extracción de nutrientes por el cultivo	56
Materiales y Métodos	61
Generalidades. El proyecto VEGINECO	63
Sistema Integrado 1 (Pilar de la Horadada)	68
Sistema Integrado 2 (Benicarló)	69
Sistema Integrado 3 y Ecológico 1 (Paiporta)	71
Toma y preparación de muestras	74
Metodologías analíticas	75
Cálculo de los balances de nutrientes y materia orgánica	78
Cálculo de los balances de nutrientes	78
Cálculo de los balances de materia orgánica	80

Resultados y discusión	81
Producción de los cultivos en los diferentes sistemas	83
Extracción de nutrientes por la cosecha y los restos de cultivo	87
Extracción de nutrientes por los distintos cultivos	87
Extracción de nutrientes en las rotaciones de cultivos	91
Contenido de materia seca y nutrientes en los diferentes cultivos	96
Balances simplificados de macronutrientes	98
Balances simplificados de nitrógeno	99
Balances simplificados de fósforo	103
Balances simplificados de potasio	105
Balances simplificados de magnesio	107
Relación entre los balances y los contenidos de nutrientes asimilables en el suelo	110
Nitrógeno	110
Fósforo	112
Potasio	113
Magnesio	114
Balances de materia orgánica	116
Balances anuales de materia orgánica	118
Relación entre el balance y la evolución de la materia orgánica del suelo	125
Conclusiones	129
Bibliografía	135

Anejos	149
Análisis de las aguas de riego	151
Análisis de las enmiendas orgánica	152
Extracción de nutrientes por tonelada de producción	153
Balances desarrollados de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio	158
Balances de materia orgánica	175

Objetivos

Como consecuencia del modelo de producción intensivo implantado tras la Revolución Verde, los sistemas agrícolas se encuentran muy deteriorados. No hay que olvidar que los agricultores producen el único bien del que la humanidad no puede prescindir; sin embargo su supervivencia se está poniendo seriamente en peligro debido a estas prácticas agrícolas basadas en la sobreexplotación de los recursos, que suponen una amenaza para la diversidad de cultivos, ecosistemas y culturas.

El empleo masivo de fertilizantes minerales de síntesis ha provocado que ya no se tengan en cuenta los mecanismos de absorción de las plantas, los equilibrios existentes entre éstas y el suelo, los bloqueos o sinergias de los nutrientes, etc. Las estrategias de fertilización se suelen basar en el aporte de nutrientes en exceso para evitar cualquier efecto negativo en la productividad, pero esto se ha hecho a costa de generar consumos de lujo y antagonismos, de que aparezcan plagas y enfermedades por cambios en la composición nutritiva de los tejidos vegetales, y de la degradación ambiental por lixiviación, erosión, empleo de grandes cantidades de productos fitosanitarios, etc.

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 del agua, donde se respete el medio ambiente y se busque 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 se debe hacer hincapié en la necesidad de alimentar al suelo y no a la planta, ya que éste es un sistema complejo y dinámico que se autorregula, y tiene un papel fundamental dentro del mantenimiento general de los ecosistemas.

El presente trabajo está enmarcado en el seno de un proyecto europeo (VEGINECO) cuyo propósito es el diseño de prototipos agrarios basados en la sostenibilidad y tiene como objetivo fundamental el cálculo de los balances de nutrientes y de materia orgánica a lo largo de una rotación de cultivos hortícolas, con la finalidad de aportar una información básica que permita ajustar el abonado a las necesidades nutritivas reales de los cultivos, evitando así los excesos que se suelen cometer en la agricultura intensiva, que suponen un gasto innecesario para el agricultor y son una importante fuente de contaminación ambiental. A su vez, se comparará la evolución de estos balances con la de los contenidos de nutrientes asimilables en el suelo, con el fin de comprobar si existe una relación directa entre ellos.

Este estudio podrá servir de orientación para futuras reconversiones a sistemas de agricultura más sostenibles, ya que con el rendimiento de la cosecha obtenida también incluido en el presente trabajo, además de evaluar el efecto del manejo sobre la producción, se podrá tener una idea aproximada de la cuantía de las extracciones de nutrientes que ocasionan los cultivos en diferentes zonas de la Comunidad Valenciana, permitiendo así cuantificar las necesidades de fertilización de los cultivos hortícolas en estos sistemas de producción integrada y ecológica.

Introducción

La agricultura intensiva convencional y su problemática

Como consecuencia del modelo intensivo y productivista que en las últimas décadas se viene practicando en la agricultura y la ganadería, se ha generado una fuerte crisis en el ámbito económico, ecológico y social. Es por ello que consideramos necesario revisar los supuestos logros tecnológicos de la Revolución Verde, iniciada a partir de 1945. Con ella, se desarrolló vigorosamente la llamada modernización de la agricultura, utilizando estrategias como la implantación del monocultivo de variedades de alto rendimiento, el empleo masivo de agroquímicos o el uso de maquinaria pesada. Éstas desencadenaron una serie de cambios en las prácticas agrícolas como la reducción de las aportaciones de materia orgánica en los programas de fertilización, uso abusivo de los recursos no renovables, abandono de los procesos naturales como fuente de suministro de nutrientes, etc., todo ello siguiendo unas prácticas que teóricamente tenían como finalidad satisfacer las necesidades que surgieron tras la acusada explosión demográfica que se vivió después de la II Guerra Mundial. De esta manera, la producción agrícola mundial tuvo que triplicarse en las siguientes tres o cuatro décadas para satisfacer la demanda creciente de alimentos producida por el incremento de la población mundial y el cambio en los hábitos de consumo (WRR, 1995). Sólo una cuarta parte de la producción mundial de alimentos aumentó durante este periodo como resultado de la expansión de tierras agrícolas, mientras que el resto lo hizo mediante el incremento del rendimiento de las cosechas por unidad de área (IFPRI, 1994). Según Alexandratos (1995), la expansión del área de cultivo no es deseable, porque en muchos casos implica el empleo de zonas frágiles para uso agrícola, con lo que el incremento en la producción de alimentos debería proceder de un aumento de los rendimientos en las ya existentes.

No obstante, estos acusados aumentos en la productividad de los cultivos conseguidos por la agricultura intensiva han generado serios problemas medioambientales, provocando grandes cambios en los ecosistemas que se han dejado sentir de diversas maneras:

Degradación física del suelo

El uso de una fertilización casi exclusivamente química, ha provocado un enorme empobrecimiento de los suelos de cultivo en materia orgánica, quedando afectada la fertilidad del suelo, lo que se manifiesta en forma de desequilibrios minerales, con un enriquecimiento de potasio y fósforo y un empobrecimiento de magnesio y micronutrientes (Aubert, 1977). Además la materia orgánica contribuye a minimizar las

pérdidas de suelo fértil debido a la erosión, de manera que al verse aquélla tan mermada se producen pérdidas que en ocasiones pueden afectar seriamente a la capacidad productiva del suelo. Este problema tiene especial importancia en las regiones mediterráneas ya que son zonas con gran riesgo de erosión hídrica, debido a la peculiar distribución de las precipitaciones. En un estudio realizado por Kosmas et al. (1997) en el que se midió la erosión en parcelas experimentales de países del ámbito mediterráneo con diferentes usos del suelo (cereales de secano, viñas, olivos, etc.), se obtuvo que el cultivo de la vid es el que crea las condiciones más favorables para la erosión, con pérdidas de suelo entre 0,67 y 4,60 t/ha/año; los valores registrados para los cereales de secano oscilan entre 0,15 y 0,90 t/ha/año, mientras que las tasas de erosión más bajas se presentan en las parcelas con olivos, con valores inferiores a 0,03 t/ha/año. Especialmente preocupantes son los datos dados por el MOPT (1992), que estiman que el 18% del territorio nacional (9,16 millones de hectáreas) presentan una alta intensidad erosiva (tasas de pérdidas de suelo superiores a 50 t/ha/año), siendo las zonas más afectadas Andalucía, la Comunidad Valenciana, Castilla La Mancha y Extremadura. Por último, en un estudio en el que se abordó el problema de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial en la Comunidad Valenciana (Antolín et al., 1998) se concluyó que las unidades ambientales que en esos momentos tenían un alto grado de erosión, con pérdidas por encima de los 40 t/ha/año comprendían el 23% de las tierras de la Comunidad Valenciana, y que los sectores con un grado de erosión muy alto (tasas de pérdida superiores a 100 t/ha/año) ocupaban un porcentaje alrededor del 7% de la superficie de la Comunidad Valenciana.

Otro problema que está sufriendo el suelo como consecuencia de las inadecuadas prácticas de cultivo es el aumento de sales solubles a concentraciones que pueden resultar tóxicas para las plantas o que pueden deteriorar la estructura del suelo. Esto es consecuencia fundamentalmente del riego con aguas muy salinas, el abuso de fertilizantes minerales y las dosis altas de enmiendas orgánicas. Se considera que el 25% de la superficie bajo riego en la Europa Mediterránea está afectada por salinización en grados de moderado a severo (WRI-IIED-UNEP, 1988). Concretamente en nuestro país, se han registrado claros ejemplos de salinización del suelo inducidos por la puesta en marcha del regadío, como en el sistema Flumen-Monegros (Huesca), donde ya son 38.000 las hectáreas afectadas por salinidad edáfica, y en los Llanos de Urgell (LLeida). Se estima, además, que la superficie de riego afectada en el Valle del Ebro es del orden de unas 320.000 ha (Balsa et al., 1991).

Contaminación del agua

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

En las aguas superficiales los efectos contaminantes se manifiestan fundamentalmente con la eutrofización de las aguas, que está basada en la llegada de cantidades anormales de fósforo, nutriente que es el principal factor limitante de la vida en el medio acuático, y que genera un incremento desordenado de la actividad vital, que consume el oxígeno disuelto en el agua y provoca una elevada turbidez, desestabilizando de esta manera el funcionamiento y estructura del ecosistema. Debido al abuso en la fertilización mineral fosfórica o porque en el diseño de programas de fertilización siempre se le ha dado una especial atención al nitrógeno y no al fósforo, los productos orgánicos que se añaden al cultivo generalmente tienen una relación N:P muy inferior a la que necesitan las plantas, con lo que se suelen producir grandes incrementos en el contenido de fósforo en el suelo. Esta acumulación de fósforo podría llegar a saturar la capacidad de retención del suelo, facilitando así el lavado de los fosfatos y las pérdidas por escorrentía.

Las aguas subterráneas también resultan gravemente perjudicadas por las prácticas de agricultura intensiva. Uno de los problemas más generalizados en las zonas agrícolas es la lixiviación de los nitratos, ya que al ser un anión muy soluble y de alta movilidad puede afectar a la calidad de las aguas freáticas. Los cultivos no suelen aprovechar más del 50% del nitrógeno de los fertilizantes inorgánicos, por lo que gran parte del mismo se pierde por lixiviación (NRC, 1989). Según los 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 que se recomienda que pueden contener las aguas aptas para consumo humano, según la Directiva de la UE (80/778/CEE). Según datos recientes 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 de las muestras de una localidad de la Comunidad Valenciana, y en 24 municipios las mediciones realizadas estaban por encima de los 100 mg/L, siendo algunas de ellas aguas de abastecimiento a la población (como en los términos municipales de Canet de Berenguer o de Oliva). De todos es sabido que desde el punto de vista sanitario una ingesta alta en nitrato puede producir metahemoglobinemia y efectos cancerígenos. 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 su capacidad de transportar oxígeno en 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 constatado la presencia de herbicidas muy persistentes y de lenta degradación en algunos acuíferos, como lo demuestran las cantidades encontradas de bromacil, atracina y otros productos en contenidos superiores al límite máximo de potabilidad en cinco de veinte pozos analizados en Castellón, Valencia y Huelva (Gomez de Barreda, 1994).

Otro aspecto a considerar es la sobreexplotación de acuíferos por encima de su capacidad de recarga, lo que genera un descenso del nivel freático con el consiguiente incremento

energético para la extracción de agua, además de un deterioro de la calidad del agua por intrusiones de agua marina en las zonas costeras de agricultura intensiva y de la pérdida de un recurso acumulado durante largos periodos de tiempo.

Degradación biológica

Como consecuencia de la reducción de la materia orgánica y de la intensificación del laboreo con maquinaria pesada, puede quedar seriamente afectada la actividad microbiana y la estabilidad de la estructura del suelo. Además, la fertilización mineral a dosis mayores de las necesarias puede inhibir la capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico de algunos microorganismos del suelo, así como la formación de micorrizas.

Pérdidas de biodiversidad

En el sistema intensivo se promueve el uso de variedades y especies de alto rendimiento que se repiten en la misma parcela varios años consecutivos, reduciéndose o suprimiéndose las rotaciones de cultivo y las cubiertas vegetales, provocando así una pérdida de diversidad biológica e incrementando la sensibilidad global del sistema a la aparición de daños catastróficos por causas diversas.

Aparición de enfermedades, plagas y desarrollo incontrolado de adventicias

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 lleva a la rotura de los equilibrios biológicos existentes en los ecosistemas agrícolas y a la disminución de la biodiversidad del suelo. Añadido a esto, cabe indicar la posibilidad que las plagas y la flora arvense desarrollen resistencias frente las sustancias activas empleadas, lo que implica un progresivo aumento en la cuantía de las dosis de tratamiento, 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.

Contaminación del suelo y del aire por el empleo de fertilizantes minerales

Los abonos minerales pueden contener numerosos metales pesados, representando una fuente importante de aportación, siendo relevantes las cantidades de zinc y cadmio que se encuentran en algunos fertilizantes fosforados. Gimeno (1996) encontró que 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). 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 (Chaney, 1980, 1983), y causar daños a los consumidores antes de alcanzar niveles tóxicos para la planta en sus tejidos vegetales.

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.

Dejando a un lado los daños medioambientales, otro grave problema consecuencia directa del modelo actual de producción agrícola es el progresivo empobrecimiento social y cultural del mundo rural. Se ha producido una enorme disminución del empleo en el sector, al reducirse de manera dramática las necesidades de mano de obra. Como consecuencia de la “huida del campo” se ha perdido el equilibrio demográfico del territorio, de manera que hoy en día el 80 % de la población se encuentra concentrada en menos del 5 % del territorio y la población agrícola activa supone menos del 5 % de la población activa total (FAO, 2000).

A raíz de esto se ha generado una situación socioeconómica delicada ya que, cuando el único motivo que guía al agricultor es la obtención del máximo rendimiento, se hace dependiente de la adquisición constante de nueva maquinaria que sea más eficiente, de la utilización de semillas y razas mejoradas y de nuevos insumos con el fin de aumentar al máximo la unidad de superficie por trabajador, produciéndose así una dependencia cada vez mayor del exterior, que conlleva a la desaparición progresiva de agricultores y ganaderos que no pueden afrontar sus deudas y a la conversión del agricultor en un mero suministrador de materias primas a las industrias alimentarias.

Frente a esta problemática se hace necesario el desarrollo de un nuevo concepto de agricultura, capaz de armonizar el incremento de la producción con el aprovechamiento racional, equilibrado y económico de los recursos naturales, humanos y culturales.

La agricultura sostenible como respuesta

Concepto de sostenibilidad

La palabra sostenibilidad no está incluida en la mayoría de los diccionarios. Es un término de finales del siglo XX derivado de un verbo (sostener, sustentar) que se refiere a mantener (durar) durante un período prolongado de tiempo. El Informe Brundtland (1987) ha sido el trabajo que más ha contribuido a la popularización del concepto de desarrollo sostenible frente a los organismos multinacionales, las ONG, los gobiernos o la comunidad científica. Dicho informe definió el desarrollo sostenible como *aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias*. Desde entonces han sido varios los enfoques desde los que se ha contemplado esta idea, enriqueciendo o matizando la definición original pero sin diferir demasiado de ella. Posteriormente, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo, más conocida como Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992, los líderes mundiales desarrollaron el marco del informe Brundtland para crear acuerdos y convenciones con los que solucionar problemas cada vez más acuciantes como el cambio climático, la desertización o el efecto invernadero. En esta cumbre se elaboraron cinco documentos con los que se pretendía establecer el modelo de desarrollo sostenible más adecuado. Pero a pesar de las cumbres, las convenciones o los esfuerzos por matizar la definición, mientras no se cambien los modelos de producción y consumo vigentes en los países desarrollados, el uso racional de los recursos naturales y el mantenimiento en equilibrio de los ecosistemas no va a ser posible.

Uno de los pilares básicos del desarrollo sostenible es la producción de alimentos siguiendo los principios que definen dicho concepto. De esta manera surge la agricultura sostenible para dar respuesta a los efectos sociales, económicos y ecológicos que se derivan del modelo productivista. Al igual que con el desarrollo sostenible, se ha elaborado una gran variedad de definiciones que intentan delimitar el concepto de agricultura sostenible (Brown et al., 1987) pero, a pesar de las diferencias en las interpretaciones de la sostenibilidad agrícola, existe una coincidencia generalizada entre ecólogos, economistas e investigadores acerca de que, en términos ecológicos, *estabilidad, elasticidad y diversidad* son propiedades características de los sistemas agrícolas sostenibles (Hamblin, 1995).

Farshad y Zinck (1993) realizaron una amplia revisión bibliográfica con el objetivo de resumir los principales aspectos relacionados con la agricultura sostenible, que se sintetizan en:

- La sostenibilidad hace referencia a la continuidad cuantitativa y cualitativa en el uso de un recurso. Este concepto debe ser aplicado al desarrollo, en el cual la agricultura es uno de sus componentes.
- La agricultura sostenible es dinámica porque une el uso de la tierra (que refleja los cambios en las necesidades de la población) y las fluctuaciones económicas mundiales.
- Sostenibilidad implica un estado de equilibrio entre las actividades humanas y la producción de alimentos. Muchos recursos naturales renovables eran sostenibles antes de la intervención humana.
- Sostenibilidad no solo significa satisfacer las necesidades de las presentes y futuras generaciones, a menudo requiere de infraestructuras mejoradas y economías estables. La equidad es una de las mayores herramientas de la sostenibilidad.
- Agricultura sostenible supone que las fuentes de producción de alimentos sean manejadas de manera que no causen degradación.

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 dado en las últimas décadas, ni volver a la agricultura del pasado, sino que lo que se pretende es 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 la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales y el paisaje. No se puede tener una visión estrecha y fragmentada de la Agronomía, hay que evitar la tendencia a la especialización que impide a los agricultores tener una visión global de su actividad. Este tipo de sistemas agrarios se basarán en la idea de que no se puede cambiar o quitar un componente propio del sistema sin afectar positiva o negativamente a otros elementos del mismo. Como se puede observar los principios son totalmente diferentes y el fin ya 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, de cambios sociales, políticos y económicos, con mercados y precios más justos. Existen una serie de dificultades para el desarrollo de la agricultura sostenible:

- La necesaria visión holística, que tiene en cuenta tanto el todo como las partes, se enfrenta con los habituales métodos reduccionistas de pensamiento, investigación, difusión o educación agrícola.
- Durante la transición hacia estos métodos, los rendimientos y la estética del producto pueden modificarse, con las lógicas implicaciones económicas. Por ello, muchos agricultores no aceptarán estos nuevos sistemas de producción si no van acompañados de mayores beneficios.

Marta Ribó Herrero

- La última exigencia de la agricultura sostenible es un ser humano evolucionado y consciente, cuya actitud hacia la naturaleza sea de respeto hacia ella y no de explotación.

Difícilmente se solventarán estas dificultades si en la investigación y difusión agrícola no se le presta más atención a los problemas a largo plazo, si no se planifica la agricultura con una perspectiva ecológica, se desarrolla el cooperativismo para llegar a más mercados y se tiene en cuenta la preocupación de los consumidores hacia los problemas de nutrición, salud y medioambiente.

La agricultura ecológica

Definición y objetivos

La agricultura ecológica, como modelo de agricultura sostenible, se define como *un sistema agrario cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad, respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad de la tierra mediante la utilización óptima de los recursos naturales y sin el empleo de productos químicos de síntesis, procurando así un desarrollo agrario perdurable* (Labrador, 1996).

Uno de los objetivos básicos de la agricultura ecológica es el progresivo acercamiento al grado máximo de autosuficiencia, a través del reciclado de nutrientes y el uso de los recursos locales, encaminándose a una disminución de la energía consumida en la mecanización de las labores agrícolas y al aumento del uso de energías alternativas.

Hay que aclarar diversos malentendidos que giran en torno a la agricultura ecológica. En primer lugar, la idea de la no utilización de productos químicos es incorrecta. Toda la materia, viva o muerta, está compuesta por sustancias con una composición química particular, por lo que no se puede afirmar que la agricultura ecológica no utilice productos químicos, sino que éstos deben ser de origen natural, y no sintéticos. Tampoco es cierto que no se pueda utilizar sustancias minerales, ya que existen productos naturales y residuos de naturaleza mineral, cuyo uso está autorizado. Además se intenta evitar el uso rutinario de productos muy solubles, sean o no naturales.

Otro malentendido es que la agricultura ecológica implique simplemente la sustitución de fertilizantes minerales por aportaciones orgánicas. Una simple sustitución de los nutrientes aportados por un abono inorgánico por los existentes en un producto orgánico no es una práctica adecuada, ya que es probable que esto suponga el mismo efecto adverso sobre la susceptibilidad de las plantas a las plagas, la calidad de las plantas o la contaminación ambiental. Un uso inadecuado de los materiales orgánicos, bien sea por exceso, por aplicación a destiempo o por productos de mala calidad, provocará posiblemente un mal funcionamiento de los ciclos naturales o bióticos, y efectos ambientales negativos similares a los causados por las prácticas incorrectas de fertilización convencional.

Por último, se ha difundido la idea equivocada de que la agricultura ecológica es una vuelta a la agricultura tradicional. Aunque se basa en técnicas empleadas ampliamente en otros tiempos

como la rotación de cultivos o los métodos mecánicos de control de adventicias, es una agricultura moderna basada en una mayor comprensión de los procesos naturales como las micorrizas, la fijación simbiótica del nitrógeno, el reciclado de los recursos, la tasa de renovación de la materia orgánica, y otros referentes de las nuevas investigaciones sobre el medio edáfico, los cultivos y la ganadería.

Técnicas de cultivo

La agricultura ecológica, en cualquiera de sus múltiples modalidades, se sustenta sobre unos pilares básicos:

Uso exclusivo de productos naturales como fertilizantes

La fertilización está basada fundamentalmente en el empleo de abonos verdes (leguminosas, gramíneas, crucíferas, etc.) o residuos orgánicos (restos agrícolas y ganaderos). No se pretende nutrir directamente a las plantas, sino estimular el conjunto que constituye el sistema productivo agrícola, es decir, el suelo (favoreciendo la formación del complejo arcillo-húmico), los microorganismos del suelo (debido a su intervención directa con los ciclos de nutrientes), y la planta. Antes de realizar el programa de fertilización se debe conocer el estado de fertilidad del suelo a partir de un análisis completo del mismo. Con estos datos y en función de los cultivos se puede determinar la cantidad, calidad, forma y época de aplicación de los fertilizantes. La materia orgánica en los cultivos hortícolas debe aportarse fundamentalmente una vez al año, antes del cultivo cabeza de la rotación. La cantidad dependerá del contenido inicial de materia orgánica del suelo, y de la riqueza en nutrientes de la enmienda utilizada, que debe compensar las pérdidas anuales y estimular la actividad biológica.

Rotación de cultivos con la finalidad de mejorar el aprovechamiento de los nutrientes del suelo y minimizar los riesgos fitosanitarios

Para disminuir los problemas de plagas y enfermedades es conveniente la alternancia de plantas con diferentes tipos de vegetación y de distinta familia botánica. A su vez, para la captación de nutrientes se introduce regularmente en la rotación una leguminosa y se alternan plantas que requieren una fuerte cantidad de materia orgánica parcialmente descompuesta con otras menos exigentes o que requieren materia orgánica muy descompuesta. También es interesante para este fin el empleo de especies vegetales cuyas raíces tengan distinta profundidad de exploración, ya que se han demostrado importantes mejoras en la absorción del nitrógeno cuando se introducen cultivos de raíces profundas de forma adecuada en la rotación (Thorup-Kristensen, 2002).

Métodos preventivos como base de la lucha contra las plagas y enfermedades

Están basados en evitar el monocultivo (diseñando un buen programa de rotación y asociación de cultivos), abonado equilibrado para obtener plantas resistentes, uso de variedades adaptadas a la zona, etc. También se permite la aplicación razonada y a dosis reducidas de productos de origen biológico y algunos productos de origen natural, cuando se alcanzan poblaciones potencialmente dañinas, con el fin de no desequilibrar el sistema. Estos productos actúan de diferentes maneras: indirectamente reforzando la planta (extractos de cola de caballo o de ortiga), como repelentes (aceite mineral, jabón) o bien dañando de manera muy selectiva a la plaga como el *Bacillus thuringensis*. Como método de desinfección de suelos se suele emplear la biofumigación, que se ha definido como *la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodescomposición de la materia orgánica en el control de patógenos de las plantas* (Bello et al., 2000). El poder biocida de esta técnica se suele ver favorecida por la solarización (Yélamos et al., 2002; Martínez et al., 2002). Otra práctica muy común en agricultura ecológica es la implantación de setos y vegetación en los márgenes, ya que, además de aumentar la biodiversidad, favorecen la presencia de insectos útiles, como polinizadores o predadores.

Control integral de adventicias

En agricultura ecológica no se persigue la erradicación total de las mismas, sino que se busca crear un equilibrio entre el cultivo y las malas hierbas, ya que éstas proporcionan cobertura al suelo, generan competencias entre ellas y pueden producir sustancias que tengan efectos alelopáticos beneficiosos sobre los cultivos. El control de la flora arvense debe comenzar antes de la implantación del cultivo, mediante una serie de medidas o tratamientos preventivos que supriman toda fuente de contaminación: colocación de setos o cortavientos que limiten el transporte de las semillas por el viento, filtrado del agua de riego, utilización de estiércol o compost bien descompuesto, no dejar abandonado el cultivo después de la cosecha, estudio de las rotaciones haciendo suceder a cultivos enyerbantes, cultivos limpiadores, o introduciendo abonos verdes. A su vez, las labores culturales también pueden contribuir al control de adventicias. Así, por ejemplo, realizar una labor superficial después de la cosecha puede inducir a la germinación de las adventicias que se pueden eliminar en la pasada siguiente. La falsa siembra está basada en la preparación del terreno para la siembra, pero ésta se retrasa dos o tres semanas, escardando mientras tanto, técnica que puede resultar beneficiosa, al igual que el acolchado con paja o con restos vegetales, ya que impediría el crecimiento de las especies indeseadas. Por último, se puede realizar una escarda manual en pequeños huertos cuando las adventicias están en estado de plántula o una escarda mecánica entre líneas.

Estado actual y perspectivas futuras

El desarrollo de la agricultura ecológica ha experimentado un gran auge en los últimos tiempos, y la superficie agrícola dedicada a los cultivos ecológicos en el mundo ha crecido hasta llegar a 11,5 millones de hectáreas, una superficie del tamaño de Cuba, aunque esta cifra todavía está por debajo del 1% del área total cultivada. El mayor incremento ha tenido lugar en Europa Occidental, donde el área ecológica se ha multiplicado por 35 desde 1985 y ha aumentado un 30% cada año. La superficie ecológica representa el 3% del total en la Unión Europea, siendo Austria el país con mayor superficie cultivada llegando al 10% (Halweil, 2001).

Según los estudios de Alonso et al. (2002) sobre la situación de nuestro país, el cultivo ecológico experimentó un crecimiento espectacular desde 1991 hasta 1998, debido fundamentalmente al reconocimiento legal de este sector tanto a nivel comunitario (R (CEE) 2092/91 y sus modificaciones posteriores, R(CEE) 1535/92 y R(CEE) 1804/99, y R(CEE) 331/00, donde se estableció la adopción de un logotipo que identifica los productos agrícolas y ganaderos ecológicos) como a nivel estatal (RD 759/88, Orden de 4 de Octubre de 1989 por el que se aprobó la Denominación Genérica “Agricultura Ecológica” y su Consejo Regulador, RD 1852/93 sobre producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios). Sin embargo, se aprecian disminuciones significativas en el ritmo de crecimiento a partir del 1998 debido fundamentalmente a la congelación de las subvenciones, aumentándose nuevamente de forma espectacular en el 2001 como consecuencia del incremento en la demanda (fundamentalmente del mercado exterior), que se convierte en la principal fuerza motriz del desarrollo de la agricultura ecológica. Así pues, de los 4.235 ha dedicadas a la agricultura ecológica en España en 1991, se ha pasado a 665.055 ha en el año 2002. Parecida progresión ha seguido el número de productores, que han pasado de 346 a 16.521, y el de elaboradores, que creció de 50 a 1.204.

La producción integrada

Definición y objetivos

Como sistema a caballo entre la agricultura ecológica y la convencional se encuentra la producción integrada que, según la OILB (Organización Internacional de Lucha Biológica) es *un sistema agrícola de producción de alimentos que utiliza al máximo los recursos y los mecanismos de regulación naturales y asegura a largo plazo una agricultura viable. En ella, los métodos biológicos, químicos y otras técnicas son cuidadosamente elegidos y equilibrados teniendo en cuenta la protección del medio ambiente, la rentabilidad y las exigencias sociales.*

El concepto de Producción Integrada tiene su origen en 1977, como fruto de una reunión en Ovronnaz (Suiza) de un grupo de expertos entomólogos, que la definieron como una fase más avanzada de la Protección Integrada, que está basada en el conocimiento de la densidad de plagas, la aplicación de umbrales de tolerancia y el establecimiento de los métodos de protección,

Marta Ribó Herrero

incluyendo la lucha química ya que se piensa que no se puede prescindir totalmente de su uso. Este nuevo concepto pues no solo se reduce a lo que está relacionado con la Protección Integrada, sino que se amplía con el manejo racional de los restantes componentes del agroecosistema (planta, agua y suelo), garantizando una buena calidad del producto tanto desde el punto de vista externo como interno (características organolépticas, contenido nutritivo, residuos de fitosanitarios, etc.).

Según esta organización, los objetivos que se persiguen con este sistema de producción son los siguientes:

- Conservación de los recursos (edáficos, hidráulicos, genéticos, etc.) y utilización de los mismos para emplearlos como sustitutos de los insumos de la explotación.
- Uso racional de los insumos (energéticos, fitosanitarios, fertilizantes, etc.).
- Gestión adecuada de los residuos, tanto sólidos como líquidos.
- Mantenimiento de la multifuncionalidad en la agricultura (conservación de la vida silvestre, diversificación del paisaje, colonización de áreas marginales, mantenimiento de las técnicas culturales tradicionales, etc.).

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. Un extracto de algunas de las técnicas que se especifican en dicho documento son las siguientes:

Suelo, preparación del terreno y laboreo

- 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 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.
- 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 suelo de labor.

Fertilización y enmiendas

- 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 al menos mantener el nivel de materia orgánica del suelo.
- Los oligoelementos solo se aplicarán cuando un análisis previo determine su insuficiencia.
- Se realizarán 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 los márgenes de las parcelas colindantes a corrientes de agua.

Control integrado

- En el control de plagas y enfermedades se antepondrán los métodos biológicos, biotecnológicos, culturales, físicos y genéticos a los métodos químicos.
- La estimación del riesgo en cada parcela se hará mediante evaluaciones de los niveles poblacionales, estado de desarrollo de las plagas y la fauna útil, la fenología del cultivo y las condiciones climáticas. Solo se realizarán medidas directas de control de plagas y enfermedades cuando exista un riesgo considerable.
- Solo pueden emplearse determinados productos fitosanitarios que deben encontrarse en el registro oficial.
- Debe protegerse la fauna auxiliar en general, y en particular, al menos, dos especies consideradas como prioritarias.
- Las malas hierbas se controlarán, siempre que sea posible, con medios mecánicos, biológicos o aquellos que ofrezcan menor riesgo de emisiones de CO₂. El empleo de herbicidas estará restringido únicamente a aquellos que se encuentren autorizados.

Estado actual y perspectivas futuras

Para que la producción integrada se desarrolle y tenga éxito debe superar el obstáculo de que no exista una reglamentación clara, que no deje vacíos legales ni provoque ningún tipo de confusión entre los consumidores. Para ello fue la propia OILB la que creó 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 requisitos generales que deben cumplir los operadores que se acojan a los sistemas de producción integrada, así como la regulación del 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 desde siempre es que, a pesar de ser uno de los objetivos de los programas de investigación europeos, no existe hasta el momento ninguna directriz oficial que regule este sistema de producción.

Desde este punto de vista la agricultura ecológica tiene una cierta ventaja frente a la producción integrada, ya que queda perfectamente definida en toda la legislación tanto europea y estatal, como en el ámbito autonómico de la Comunidad Valenciana. A su vez, la Comisión Europea ha establecido la adopción de un logotipo para identificar los productos agrícolas y ganaderos donde se utiliza el modo de producción ecológico. Este es un paso importante para demostrar la calidad que un producto supuestamente posee, y puede realizarse de forma muy sencilla mediante la estandarización de un sello o una marca. Tanto la producción integrada como la agricultura ecológica son figuras de calidad, pero el consumidor aún no las percibe como tal ya que no están dotadas de una imagen de seriedad que ofrezca plenas garantías.

No obstante, a pesar de estos inconvenientes, cabe destacar que la producción integrada se encuentra muy extendida en los países del centro y norte de Europa, sobre todo en los cultivos frutales de pepita, donde el 35 % de la superficie de producción en el conjunto de estos países y hasta el 70 % en el caso de Suiza, emplean este sistema de producción, según una encuesta de la OILB realizada en 1994 (Cross, 1996). Se llega al caso de que algunos productos como la uva de mesa no encuentren salida comercial si no llevan etiquetado de producción integrada (Avilla, 2000).

Fertilidad del suelo y nutrición de los cultivos en agricultura sostenible

Los sistemas de agricultura convencional están basados fundamentalmente en la aplicación de abonos minerales solubles, y en muchos casos no se tienen en cuenta los mecanismos de absorción de la planta, los equilibrios existentes entre ésta y el suelo, ni los bloqueos o sinergias entre los nutrientes. Esta estrategia de fertilización se basa en la aportación de nutrientes en exceso para obtener los máximos rendimientos aún a costa de dar lugar a consumos de lujo, favorecer la aparición de plagas debido a cambios en la composición nutritiva de los tejidos vegetales, y como ya se ha visto anteriormente, producir degradación ambiental por lixiviación de nutrientes, pérdida de materia orgánica del suelo, erosión y necesidad de emplear grandes cantidades de herbicidas, fungicidas y plaguicidas.

Según un reciente informe de la FAO (2000), aproximadamente 250.000 toneladas de fertilizantes nitrogenados fueron utilizados en Europa. Algunos cultivos tienen requerimientos bastante elevados de nitrógeno: 300 kg N/ha para las coles de Bruselas, 250 para las coliflores, 200 para las lechugas, 150 para los puerros, 90 para las cebollas y 60 kg N/ha para las zanahorias (MAFF, 1994), siempre en cifras aproximadas de este nutriente. Hay muchos ejemplos, pese a ello, que ponen de manifiesto que se pueden perder grandes cantidades de este nutriente por lixiviación (Juergens-Gschwind, 1989; Goulding, 2000; Neeteson y Carton, 2000). Con el fin de reducir el riesgo de pérdida del nitrógeno aportado como fertilizante, es necesario tener en cuenta todas las posibles fuentes de nutrientes en el cálculo de los requerimientos del cultivo. Aportes por debajo de las cantidades necesarias pueden provocar retrasos en la maduración y reducciones en la producción y calidad de las cosechas, como queda demostrado en los estudios de Rahn (1993, 1998) para el cultivo de coliflor. Por el contrario, un aporte por encima de lo adecuado puede incrementar la incidencia de enfermedades, como putrefacción en el tallo del brócoli (Everaats, 1994) o en la cebolla (Batal et al., 1994). Asimismo, algunos desórdenes fisiológicos de las plantas están relacionados con cantidades de nitrógeno excesivas, tales como ahuecado en los tallos de las plantas de coliflor (Scaife y Wurr, 1990).

Queda demostrado pues, que para la creación de un sistema agrícola que garantice una buena producción y tenga en cuenta la sostenibilidad es fundamental el conocimiento en profundidad de la nutrición de los cultivos. El mantenimiento optimizado del ciclo de nutrientes esenciales es, desde el punto de vista de la nutrición de la planta, la clave de un sistema de agricultura sostenible. Para una gestión óptima de la nutrición vegetal hay que diseñar estrategias que estén basadas en el conocimiento de la evolución de los elementos esenciales en el conjunto suelo-aire-planta. El

reciclado de nutrientes es fundamental en estos sistemas de agricultura en los que se intenta crear un ciclo cerrado evitando la pérdida innecesaria de nutrientes hacia el exterior del sistema, con la consiguiente necesidad de menos aportes. Para ello hay que conocer los cultivos que extraen más cantidad de nutrientes, hay que reducir al mínimo las pérdidas aumentando al máximo las ganancias y se deben utilizar las capacidades de reciclado que posee el suelo basándose en la comprensión del efecto a largo plazo de las labores y las rotaciones.

Se han hecho numerosos estudios relacionados con la fertilidad y con los ciclos de los nutrientes en los suelos. Ya a mediados del siglo XIX, los trabajos del científico alemán Liebig dieron lugar a la mayoría de conocimientos en los que se basa hoy en día la nutrición de los cultivos. Pero el propio Liebig al final de su vida fue muy crítico con los resultados de su obra, sobre todo en la manera en que la nutrición vegetal se había aislado del concepto ecológico de la agricultura. Es fundamental tener presente que la fertilidad del suelo es un concepto complejo que engloba a muchos componentes como la profundidad del suelo, textura y estructura, reacciones físicas y químicas en su interior, contenido y composición de la materia orgánica, actividad biológica, contenido y capacidad de almacenamiento de los nutrientes, ausencia de sustancias tóxicas, etc. El resultado de la óptima combinación de estos factores es una elevada fertilidad del suelo que supone a su vez una elevada potencialidad de producción de cultivos (Finck, 1998).

La materia orgánica del suelo

Debido a la poca consideración que se le ha dado a este aspecto desde que se inició el uso generalizado de fertilizantes de síntesis, es importante revalorizar el papel de la materia orgánica del suelo, ya que ésta desempeña una función insustituible en el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.

La fuente original de materia orgánica en los suelos de cultivo proviene de la incorporación de restos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, así como de la biomasa microbiana. Estos restos tan dispares se suelen denominar *materia orgánica fresca* y, bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos se encuentran sometidos a un constante proceso de transformación. Hay que destacar pues, la naturaleza dinámica de la materia orgánica del suelo, ya que no es un componente fijo y homogéneo, sino que va transformándose y evolucionando sin cesar. Un esquema simplificado del ciclo de la materia orgánica puede encontrarse en la Figura 1.

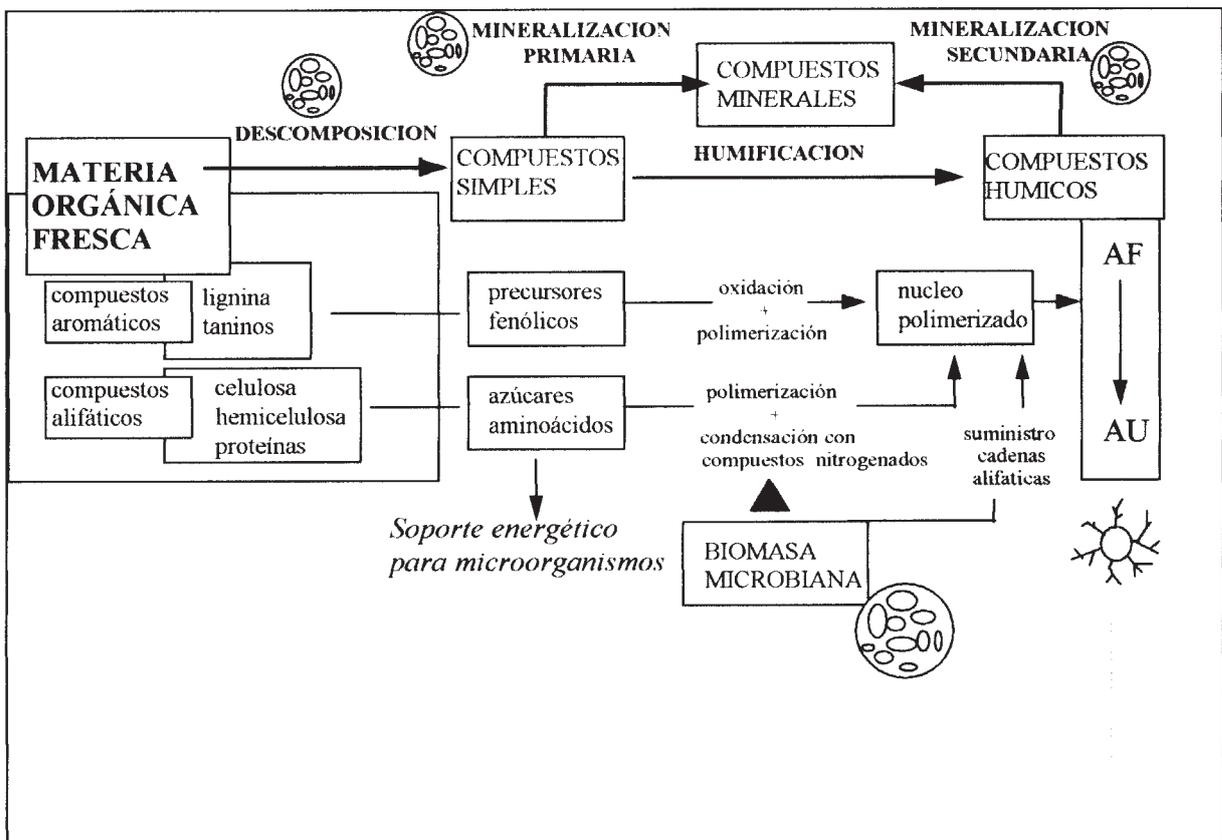
Esta materia orgánica fresca, compuesta en su mayor parte por grandes macromoléculas orgánicas (celulosas, hemicelulosas, ligninas, otros carbohidratos complejos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc.) es descompuesta por la flora y fauna del suelo, para dar lugar a compuestos más sencillos (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.). Estos compuestos, bloques elementales de las macromoléculas originales, pueden ser mineralizados por la acción microbiana, o bien reincorporarse a los compuestos húmicos, formados por polimerización biótica y abiótica de los restos vegetales de la degradación de la materia orgánica. Dentro de estos compuestos húmicos

se suele distinguir entre ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas en función de sus propiedades y composición.

Hay que diferenciar, pues, entre la mineralización primaria, que sería la que afecta a la materia orgánica original y la 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 por la formación de enlaces con los componentes minerales del suelo—arcillas y óxidos fundamentalmente—lo que dificulta su mineralización.

El equilibrio húmico del suelo viene determinado por la coexistencia de estos dos procesos comentados anteriormente: la humificación y la mineralización. La velocidad de ambos depende mayoritariamente de la actividad biológica que en él se desarrolla y ésta, a su vez, es función de las condiciones climáticas (temperatura y humedad), edáficas (porosidad, textura, estructura, permeabilidad, pH, contenido en elementos minerales, etc.) y de cultivo (secuencias de cultivo, laboreo, riegos, fertilización, medidas contra la erosión, etc.).

Figura 1. Ciclo de la materia orgánica



Mantener el contenido de humus a un determinado nivel es fundamental para la conservación de la fertilidad del suelo, sobre todo el humus joven en curso de evolución más que el humus estabilizado. Por ello es más interesante hacer aportaciones frecuentes de materia orgánica en dosis limitadas que aportaciones más abundantes en intervalos más separados.

Importancia de la materia orgánica

Si la función de la materia orgánica fuese únicamente el aporte de nutrientes al suelo tendría poco interés ya que la fertilización mineral actúa en este sentido con mayor rapidez. Sin embargo, el papel de la materia orgánica en la complejidad del suelo es mucho más importante y por ello insustituible, ya que desempeña un papel clave en el mantenimiento de sus propiedades, estructura y capacidad productiva, mediante una larga y compleja serie de mecanismos interrelacionados. A modo de breve resumen algunas de sus funciones son:

Mejora de las propiedades físicas del suelo

La materia orgánica ejerce una acción muy favorable sobre la estructura del suelo, permitiendo una buena circulación del agua y del aire y una fácil penetración de las raíces. Con ello se obtiene un aumento de la permeabilidad, mayor capacidad de retención de agua y menor cohesión del suelo, con lo que se reduce el encostramiento, facilitando así las labores agrícolas. Una tierra bien provista de humus es más esponjosa, más aireada, menos pesada y menos sensible a la sequía. Se ha demostrado que la producción de los cultivos es mejor en suelos bien estructurados: así, Korschens et al. (1998) obtuvieron producciones un 5-10% más elevadas en suelos que presentaban una buena estructura.

Regulación y estímulo de la nutrición mineral

Los efectos de la materia orgánica humificada sobre las propiedades químicas del suelo se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Aumenta la capacidad de intercambio iónico del suelo. Las sustancias húmicas y las arcillas constituyen la parte fundamental del complejo de cambio, y gracias a sus grupos funcionales aumentan el poder de adsorción de la mayoría de elementos nutritivos contribuyendo así a la fertilidad global de los suelos agrícolas.
- Es fuente y reserva de nutrientes para la planta. Bajo la acción de los microorganismos del suelo, el humus se mineraliza lentamente liberando su contenido en elementos fertilizantes.

- Participa en la formación de complejos fosfo-húmicos. Se impide así la retrogradación del fósforo, manteniéndolo en estado asimilable para las plantas a pesar de la presencia de caliza activa y hierro libre.
- Atenúa la fijación del potasio en el interior de las unidades estructurales de algunas arcillas.
- Es una fuente de gas carbónico. La oxidación lenta del humus libera carbono en forma de dióxido de carbono, que se transforma en ácido carbónico al diluirse en la solución del suelo, contribuyendo a solubilizar algunos elementos minerales del mismo, facilitando así su absorción por la planta.
- Favorece la acción de los abonos minerales. Algunas sustancias húmicas incrementan la permeabilidad de las membranas celulares de las raíces absorbentes, facilitando la absorción de elementos minerales.

Mantenimiento de la actividad biológica del suelo

La materia orgánica constituye la fuente de nutrientes y/o energía de una multitud de microorganismos, lombrices y otros organismos que hacen del suelo un medio vivo. Estos organismos, son tanto más numerosos y activos cuanto mejor provisto esté el suelo de humus. La materia orgánica, y en particular los productos transitorios en la primera fase de su descomposición, es el fundamento de la actividad biológica de los suelos.

Elevación de la capacidad de producción del suelo

Resulta del conjunto de las acciones favorables anteriores. Mejorando las propiedades físicas del suelo, estimulando la absorción de elementos nutritivos, proporcionando elementos fertilizantes para las plantas, asegurando una mayor disponibilidad de agua y activando la vida microbiana del suelo se establecen unas condiciones más adecuadas para incrementar la producción de los cultivos.

Debe haber quedado suficientemente demostrada la importancia de la materia orgánica en el suelo, por lo que desde el punto de vista agrícola es interesante realizar un balance de humus que garantice que la cantidad de éste sea la adecuada y no descienda con el paso del tiempo. Dicho contenido descenderá en los suelos sometidos a fuerte laboreo o en los que mantienen rotaciones de alta intensidad que dejan pocos residuos vegetales. Para mantener estable el contenido de materia orgánica a un determinado nivel es interesante hacer un balance en el sistema y realizar aportaciones frecuentes de productos orgánicos, siempre en dosis adecuadas.

La materia orgánica en la agricultura sostenible

A pesar de que en la actualidad ha perdido gran parte de su importancia, el empleo de materiales orgánicos como fertilizantes es una práctica que se ha constatado beneficiosa desde los inicios de la agricultura. Ya en el año 900 a. de C., Homero cita en la Odisea que el padre de Ulises añadía estiércol a sus viñas; Jenofonte, en el año 400 a. de C., mencionaba el uso de abonos verdes y estercolados; Teofrasto s. III.IV a de C., recomendaba estercolar las tierras poco productivas y mencionaba también como los agricultores de Tesalia y Macedonia enterraban cultivos de leguminosas con el fin de enriquecer sus tierras; Columela en el s. I de. de C. en su extensa obra sobre agronomía, explica cómo utilizar el estiércol, los abonos verdes, la técnica del compostaje, etc. (Labrador, 1996).

Pero no son sólo las huellas del pasado las que nos hacen pensar que la materia orgánica es la clave y eje central de la fertilización.

La principal fuente de nutrientes para el suelo en los sistemas de producción sostenible es la materia orgánica, ya sea producida por el propio sistema o aportada de fuentes externas, por lo que ésta se constituye en un elemento fundamental en los mismos.

Un modelo ideal sería aquel que integrara la agricultura con la ganadería, ya que los animales producen estiércol, aprovechan zonas que a menudo no pueden ser empleadas para cultivos y juegan un papel importante a la hora de cerrar los ciclos de nutrientes. Además ayudan a la diversificación del sistema productivo agrario (Labrador y Guiberteau, 1990). De hecho, la integración de ambas actividades podría dar respuesta a algunos de los problemas que se derivan de los modelos agrícolas y ganaderos actuales, como son la generación de grandes cantidades de residuos difíciles de gestionar en las explotaciones ganaderas intensivas y el déficit en materia orgánica que de manera creciente presentan los suelos de cultivo.

Probablemente la primera necesidad en las parcelas agrícolas que se van a cultivar de manera agricultura sostenible sea incrementar su nivel de materia orgánica. Esto se puede conseguir mediante una serie de procedimientos:

Utilización de residuos orgánicos

El modo más directo de aumentar la materia orgánica del suelo es aportándola en forma de residuos. Dentro de la agricultura sostenible, los residuos a aportar son los restos de cultivo y poda, y los estiércoles. Los restos vegetales deben ser triturados antes de su aplicación para facilitar su descomposición por los microorganismos, y pueden dejarse como acolchado o incorporarse a poca profundidad tras un ligero oreo. Si se trata de materiales pobres en nitrógeno, como rastrojo de cereal o restos leñosos, se recomienda incorporar conjuntamente algún residuo rico en nitrógeno para compensar esta deficiencia. En cuanto a la aportación de estiércoles hay que indicar que, a pesar de que presentan un amplísimo rango en sus características físicas y su composición en función

de la clase de ganado, de su manejo, su alimentación, etc., todos suelen ser muy ricos en materia orgánica y con buena parte del nitrógeno y fósforo en forma orgánica. Muchas precauciones deben tenerse en su manejo y aplicación, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de sus nutrientes y reducir los riesgos de contaminación ambiental.

Empleo de abonos verdes

El abonado en verde es la utilización de cultivos de crecimiento muy rápido, que se cortan e incorporan al suelo de la parcela. Con ello, se mejoran las propiedades físicas del suelo, se enriquece éste con humus poco evolucionado, se aportan sustancias fisiológicamente activas y se incrementa la actividad microbiana. Se suelen emplear plantas de la familia de las leguminosas (tréboles, veza, alfalfa, habas, guisantes, etc.), capaces de fijar el nitrógeno presente en la atmósfera, gramíneas (avena, cebada, raygrás, etc.), que se siembran en combinación con las anteriores para dar mayor masa vegetal y mayor protección al terreno, o crucíferas (la mostaza blanca, el nabo forrajero, etc.), de crecimiento muy rápido y con gran capacidad de absorción de nutrientes por sus largas raíces. Los residuos generados deben enterrarse superficialmente pasados unos días después del corte y preferentemente triturados, para posteriormente ser incorporados a mayor profundidad. Se suele considerar que los abonos verdes dan lugar a 30 o 40 kg de humus por tonelada que se incorpora (Labrador, 1996), y cuando se trata de leguminosas se tienen estimaciones de aportes de nitrógeno que superan los 200 kg N/ha (Loomis y Connor, 2002), aunque dependerá de la especie y de la densidad de siembra. A pesar de los indispensables beneficios, hay que tener en cuenta que es una práctica que presenta algunos riesgos como la competencia por el oxígeno o los nutrientes entre los microorganismos y el cultivo siguiente, o liberación de compuestos potencialmente fitotóxicos.

Los nutrientes esenciales para las plantas

Para la mejor comprensión de los aspectos relacionados con la nutrición de los cultivos también es necesario analizar los ciclos y características de los elementos más representativos. Para que un sistema agrícola sea sostenible los nutrientes exportados en la cosecha, deben volver al suelo para ser utilizados por los cultivos siguientes (Urbano Terrón, 1998). Con el fin de reducir las necesidades de aportación, es imprescindible que las pérdidas de nutrientes por erosión, lixiviación, inmovilización, retrogradación, desnitrificación o volatilización del amoníaco sean mínimas. Todas las pérdidas del sistema deben ser repuestas finalmente bien por fijación biológica, una mejor utilización de los nutrientes presentes en el suelo o el uso en las condiciones de máxima eficiencia de los nutrientes incorporados al mismo, en forma de restos de cosechas, estiércoles o fertilizantes inorgánicos (King, 1990). Aunque son muchos los nutrientes necesarios para el desarrollo vegetal, puede decirse que desde la óptica agronómica, nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio son sin duda los más relevantes.

Nitrógeno

El nitrógeno es un factor 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 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), aunque este contenido varía según el cultivo. Una planta bien provista de nitrógeno brota adecuadamente, adquiere un gran desarrollo de hojas y tallo y toma un color verde oscuro, debido a la abundancia de clorofila. Una buena vegetación hace prever una intensa actividad asimiladora, es decir un crecimiento activo y un rendimiento alto, pero es importante ajustar el momento de aplicación y la cantidad 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 las plagas (ya que los tejidos permanecen tiernos y verdes durante más tiempo), además de los graves problemas medio ambientales que ya se han discutido anteriormente.

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. La incorporación se realiza bien por fijación simbiótica de bacterias del género *Rhizobium* localizadas en las raíces de las leguminosas (Rennie y Kemp, 1983) o por 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 nitrito, amonio y nitrato, todos ellos 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) y bajo la acción progresiva de la flora microbiana se irá mineralizando hasta las formas químicas que pueden ser asimiladas por las plantas. Dada la importancia de la reserva de nitrógeno orgánico y de las transformaciones microbianas, 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 unos rangos que oscilan entre 2 y 4 t N/ha. Sin embargo, los suelos de pastizal continuo contienen más cantidad de materia orgánica y más nitrógeno, alcanzando unos valores típicos de 5-15 t N/ha (Whitehead, 1995). El 5% del nitrógeno orgánico está contenido en la biomasa microbiana (Anderson y Domsch, 1980). De cualquier manera, solo 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 kg N-NO₃/ha (Gómez, 2001). En las capas más superficiales de la mayoría de suelos 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 (Scherer, 1993).

La dinámica del nitrógeno en el suelo es una sucesión compleja de mineralizaciones y reorganizaciones, que se recompone continuamente cada vez que nuevas circunstancias atmosféricas o intervenciones del agricultor rompen el frágil equilibrio existente en el suelo. 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 las plantas 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 en la proliferación microbiana ante una aportación de materia orgánica fresca, se pueden producir pérdidas de nitrógeno asimilable (Sharpe et al., 1988; Wander et al., 1994; Drinkwater et al., 1998) como consecuencia de:

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

A su vez, un balance adecuado entre el aporte de nitrógeno y el consumo por parte de los cultivos va a ser difícil de alcanzar en aquellos suelos que contengan niveles altos de materia orgánica pero posean unos índices de mineralización bajos. Se ha sugerido que el nitrógeno puede ser usado más eficazmente 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 que la que puede alcanzarse con una simple aplicación de fertilizante mineral (Arden-Clarke y Hodges, 1988). Resulta más fácil controlar la dinámica del nitrógeno si se realizan aportaciones 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 excesivos niveles 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).

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

Fijación biológica no simbiótica

Realizada por las algas verdiazules o cianofíceas, que son organismos libres que viven en casi cualquier condición ambiental donde haya suficiente luz solar para realizar la fotosíntesis. La cantidad de nitrógeno que estas algas aportan a los suelos cultivados se ha estimado entre 10 y 15 kg N/ha (Lampkin, 1998). En una experiencia en arrozales de la Comunidad Valenciana se han llegado a obtener valores de fijación de nitrógeno entre 13 y 34 kg N₂/ha, presentándose los registros más bajos cuando se aplicaba mayor cantidad de fertilizante nitrogenado (Carreres et al., 1996). A su vez, la bacteria *Azospirillum* tiene capacidad de fijar pequeñas cantidades de nitrógeno y promueve el crecimiento de las raíces de las plantas, con lo que se mejora el aprovechamiento de otros nutrientes del perfil del suelo.

Estiércoles, restos de cultivo y abonos verdes

Como ya se ha indicado anteriormente, en los sistemas agrícolas sostenibles es muy importante la aportación de enmiendas orgánicas, pues con ellas se reciclan muchos nutrientes, entre ellos el nitrógeno, permitiendo su liberación lenta. Hay que tener en consideración que la aportación 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 su proliferación, pudiendo generar deficiencias en los cultivos. Algunos de los productos autorizados por el Reglamento (CEE) 2092/91

son: estiércol procedente de ganadería extensiva, mantillo de excrementos sólidos de animales incluida la gallinaza y el estiércol compostado, excrementos líquidos de animales (prohibida la procedencia de ganadería intensiva), residuos domésticos compostados o fermentados, turba, mantillo procedente de cultivos de setas, humus de lombriz, guano, mezcla de materias vegetales compostadas o fermentadas, etc.

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. Algunos estudios demuestran una estrecha relación del contenido de nitrógeno en las aguas subterráneas y las cantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados a estas áreas.

Fósforo

El fósforo es un componente esencial de los vegetales, cuya riqueza media en P_2O_5 es del orden del 0,5 al 1% de la materia seca (Gros et al, 1992a). 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 los períodos de vegetación críticos para el cultivo, como son la fecundación, 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.

El fósforo en el suelo

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

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

La fracción asociada a la materia orgánica del suelo representa un 30-50% del fósforo total en muchos suelos, encontrándose el resto en forma de compuestos inorgánicos (Paul y Clark, 1996). Las formas iónicas del fósforo se encuentran: fijadas por diversas partículas del suelo como el complejo arcillo-húmico, que tienen capacidad de retenerlas mediante puentes de calcio; fijadas a los hidróxidos de hierro y aluminio de naturaleza coloidal, o bien libres en la solución del suelo.

Está generalmente aceptado que los componentes de fósforo orgánico que se encuentran en la solución del suelo no están directamente disponibles para las plantas y deben ser mineralizados por fosfatasa extracelulares antes de ser tomados por las plantas (Tate, 1985). Estas fosfatasa extracelulares proceden de los exudados de las raíces de las plantas y de muchos componentes organotróficos de la microflora del suelo. Las fosfatasa son enzimas inducibles que se generan en respuesta a la necesidad de fósforo y su actividad es usualmente mayor cuando la concentración de fósforo en la solución es baja. Aunque el P_2O_5 adsorbido no supone más que una pequeña parte del fósforo total, es por el contrario el que constituye, 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, y suele alcanzar concentraciones 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 reestablecer el equilibrio alterado.

En relación con el fósforo, el humus juega un doble papel: por un lado proporciona una reserva de fósforo potencialmente asimilable para las plantas que se liberará fácilmente por mineralización y por otro lado desempeña una función de protección de los iones fosfatos por formación de humofosfatos, impidiendo así que se unan de forma más o menos irreversible al suelo.

Una fertilización continua de fósforo superior a las necesidades de los cultivos producirá una acumulación del mismo en el suelo, ya que debido a su poca movilidad en el suelo, los iones fosfatos no podrán ser extraídos por la raíz de las plantas cuando estén separados por una distancia de más de 2 mm. Estos aspectos deben tenerse en cuenta en el diseño 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, se deben evitar 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 importante papel en la inmovilización del fósforo de la solución del suelo. La absorción anual de fósforo por parte de la biomasa microbiana a menudo excede a la de las plantas superiores (Paul y Clark, 1996). Sin embargo, esta inmovilización es a corto plazo y puede proteger al fósforo de fijaciones más duraderas en los minerales del suelo. 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 (Smeck, 1985). Se ha estimado que dicha mineralización, en los suelos de cultivo supone 6 kg P/ha anualmente 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 fosfatasa ácidas es mayor en suelos bajo cultivo ecológico y biodinámico que en los de manejo convencional debido a que la incorporación de materia orgánica al suelo conlleva a la mineralización de fósforo orgánico, promoviendo así el ciclo biogeoquímico de dicho elemento.

Fuentes de fósforo en agricultura sostenible

Comparado con los demás nutrientes, la toma de fósforo por la planta, por la lenta difusión de éste, depende mucho más del tamaño del sistema radicular, de la densidad de los 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 ión fosfato se mueva a más 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 de fosfato 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 las 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, pues se aplican grandes cantidades de fosfatos solubles, los cuales también inhiben la micorrización, pero no es así en los sistemas donde se busca la aplicación racional de los insumos, dada su función de 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 que buscan la sostenibilidad 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 el fósforo orgánico, y porque mantiene la superficie del suelo húmeda aumentando así el tiempo en que las raíces pueden absorber el fósforo o 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 asimilables de fósforo, con lo que aumenta su disponibilidad para el cultivo posterior.

Estiércoles

Se ha conseguido aumentar hasta un 14% el contenido de fósforo de los suelos durante un periodo de 30 a 40 años con aplicaciones anuales de entre 5 y 11 t/ha de estiércol. La disponibilidad del fósforo contenido en el estiércol viene a ser del 60% en el año siguiente a su aplicación, y el resto contribuye a mantener a largo plazo las reservas del suelo (Lampkin, 1998).

Abonos minerales

En situaciones de deficiencia de fósforo, se puede recurrir al uso de productos como la roca fosfatada o las escorias de desfosforación en los suelos ácidos y de fosfato aluminico-cálcico (fosfal) para los suelos básicos. En agricultura ecológica está permitido el empleo de determinados fertilizantes minerales, que no hayan sufrido ningún proceso químico de síntesis y que estén contemplados en la normativa europea (R(CEE) 2092/91). 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 necesidad como consecuencia de que no se pueda conseguir una nutrición adecuada con el aporte de enmiendas orgánicas. La necesidad de aplicar fertilizantes minerales al sistema debe estar reconocida por el organismo de control o la autoridad de control correspondiente, y 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 pérdidas y mejorar su disponibilidad.

El potasio

Junto con el calcio, el potasio es el principal constituyente de la fracción mineral de las plantas (1-3% de la materia seca). Las funciones del potasio en las plantas son variadas: actúa como regulador iónico, interviene en la fotosíntesis, en la formación de las proteínas, 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.

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. Los problemas con este nutriente están más relacionados por lo general con su disponibilidad para la planta que con su falta.

En el suelo, el potasio se puede encontrar en cuatro formas diferentes: como componente de los minerales del suelo, fijado, intercambiable y en solución. Los valores típicos son de 2-3 kg K/ha en la solución del suelo, entre 40 y 500 kg K/ha de potasio intercambiable y de 25.000-50.000 kg/ha en formas no intercambiables (Kofoed, 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 las redes cristalinas de las arcillas y de los constituyentes minerales de la roca madre están presentes en el suelo en proporciones mucho mayores, pero lo liberan mediante largos procesos de meteorización y transformación.

Los estudios realizados por Arden-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, con la gran proporción de potasio intercambiable contenido en la materia orgánica del suelo, puede haber menos migración y fijación del potasio en las redes de las arcillas. A su vez, Scheller (1992) 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 fertilizante potásico a aplicar. La conclusión que se extrajo de dicho estudio fue que, bajo condiciones favorables como las que a menudo se dan 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, la micorrización propia de los suelos ecológicos puede potenciar el suministro de potasio a los cultivos. Clark (1997) detectó que las micorrizas arbusculares de suelos ácidos aumentaban la adquisición de potasio por las plantas en una rotación de cultivos de maíz y soja. En contraste con el efecto inhibitorio que se presenta ante elevados contenidos de fósforo, Kurle y Pflieger (1996) encontraron una correlación positiva entre las poblaciones de esporas de hongos micorrízicos y el contenido de potasio del suelo.

No resulta sencillo dilucidar 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, 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 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 pueden perjudicar la absorción de estos dos elementos provocando carencias.

No se suelen producir excesivas 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 Goulding, 1990). Únicamente pueden ser significativas en suelos arenosos o sobre cretas, en los que se han registrado pérdidas de 60 – 94 kg K/ha (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

Marta Ribó Herrero

de potasio comerciales son de rápida solubilidad pudiéndose producir pérdidas innecesarias de este elemento en el sistema.

Fuentes de potasio en agricultura sostenible

Estiércol

La cantidad de potasio que poseen es muy variable y depende fundamentalmente del contenido de paja que tengan y de las posibles pérdidas de este nutriente que se hayan producido durante el proceso de almacenamiento. Al igual que en el fósforo, lo más probable es que el 60% del potasio se encuentre disponible para el cultivo del año siguiente a su aplicación (Lampkin, 1998).

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, sobre todo las que no tienen un alto contenido en paja, son deficitarias en potasio, con 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 bruto.

El magnesio

La materia seca de los vegetales contiene de 0,1 a 0,5% de magnesio (Gros et al., 1992c). El magnesio juega un papel fundamental en los fenómenos vitales de las plantas, ya que participa en la formación y funcionamiento de la clorofila y otros pigmentos (carotenos y xantófilas), regula el equilibrio ácido-base de los jugos celulares, interviene en la movilización de los fosfatos favoreciendo la formación de ATP, participa en la formación y acumulación de reservas de azúcares e hidratos de carbono, proteínas, vitaminas, etc.

Marta Ribó Herrero

El magnesio en el suelo

Las reservas globales de magnesio en el suelo en general son muy importantes, encontrándose desde formas minerales muy poco solubles como silicatos y carbonatos, a otras de mayor solubilidad como sulfatos y cloruros. Pero como ocurre con el resto de nutrientes absorbidos en forma catiónica, la forma más relevante para la nutrición de las plantas es el magnesio asimilable, formado por el magnesio retenido en la superficie del complejo arcillo-húmico y el magnesio libre en la solución del suelo.

El contenido en magnesio asimilable de un suelo no define con precisión la capacidad nutritiva del mismo si no se tienen en cuenta los antagonismos que pueden producirse entre el magnesio y otros cationes. Hay que considerar el antagonismo Ca/Mg, ya que valores por encima de 10 puede originar carencias magnésicas, así como la relación K/Mg, que debe ser inferior a 3 para que no se presenten deficiencias nutritivas en las plantas. También se presentan estados carenciales en suelos ácidos o en cultivos fuertemente fertilizados con compuestos amoniacales, al igual que existen problemas de absorción del magnesio en suelos salinos.

Fuentes de magnesio en agricultura sostenible

Este elemento no presenta una gran problemática en los sistemas de agricultura sostenible, ya que en la mayoría de los casos, con la concentración presente en los suelos es suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos, pero en el caso de que se necesite restablecer carencias en magnesio está autorizada la aplicación de enmiendas minerales como la eptonita, la kieserita, el patentkali, la magnesita, etc.

Los balances de nutrientes y materia orgánica

Balance de nutrientes

En los sistemas de agricultura sostenible es importante aplicar estrategias eficaces para reducir la dependencia de los fertilizantes minerales sin que disminuyan significativamente los rendimientos en la producción. Es así 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 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 los aportes y las 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 los sistemas agrícolas sostenibles. Hay que tener en cuenta que un desequilibrio entre el aporte y la extracción de nutrientes por las plantas no solo refleja un coste innecesario para el agricultor, si no también un potencial efecto perjudicial para el medio ambiente (Granstedt, 1992a).

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 cultivo con una localización determinada. Este tipo de balances permite la medida de factores 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 et al. (1993) es el balance de nutrientes. Un balance positivo muy elevado conducirá, entre otras cosas, a contaminaciones en las aguas subterráneas y superficiales, mientras que un balance negativo puede llevar a una disminución en las reservas de nutrientes con las consiguientes pérdidas de fertilidad en el suelo, disminuyendo 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 el enfoque de 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 un 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 presentaban contenidos de 7,5 mg P/100 g suelo frente a 25,6 mg P/100 g suelo de las fincas convencionales. Sin embargo, la diferencia entre sistemas no es tan marcada en las reconversiones realizadas recientemente, tomando valores de 18,7 mg P/100 g suelo en las fincas ecológicas y de 19,4 mg P/100 g suelo en las convencionales. Por el contrario, las diferencias en los contenidos de potasio no fueron tan acusadas: 23,8 mg K/100 g suelo en fincas ecológicas históricas frente a 24,4 mg K/100 g suelo en las fincas reconvertidas recientemente.

Por otra parte, en otro trabajo realizado por Kaffka y Koepf (1989) se demuestra 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 mostraban solo pequeñas diferencias en fósforo, potasio y magnesio asimilables 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 importa con las semillas, con los piensos, con los fertilizantes y con la compra de animales, y como pérdidas los productos que salían de la finca en forma de leche, de huevos, de producción vegetal y animales vendidos. Los resultados de los balances de nutrientes realizados durante un período de 30 años (1952-1981), dieron un valor negativo para el nitrógeno (-14,1 kg N/ha/año), que es un indicador de la elevada contribución de la fijación biótica ante los niveles estables de materia orgánica que se dan en dicho sistema. También se observó un balance negativo para el fósforo (-2,2 kg P/ha/año), y, sin embargo, el balance del 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 aproximada que indica si una rotación está equilibrada en nutrientes. Realmente no puede reemplazar los análisis del suelo y del material vegetal o el seguimiento del estado del cultivo, que en la práctica proporcionan la mejor información sobre la necesidad de medidas correctoras.

Balance de materia orgánica

El contenido de materia orgánica estable del suelo comúnmente llamado humus, es el resultado del equilibrio entre dos procesos: la descomposición y estabilización de los nuevos aportes de materia fresca y la mineralización de aquella preexistente. Es por ello que no solo es útil conocer el valor absoluto del contenido de materia orgánica en el suelo, sino también la velocidad con la que ésta evoluciona y el equilibrio al que tienden los procesos de humificación y mineralización. El predominio de uno de estos procesos, humificación o mineralización, sobre el otro, depende de muchos factores como la composición de los restos orgánicos aportados, la actividad biológica del suelo, la humedad, la temperatura, las propiedades físico-químicas del suelo, etc.

En este sentido un suelo equilibrado será aquel que reciba aportes periódicos de materia orgánica, presente una actividad biológica óptima y una activa descomposición de la materia orgánica y genere importantes cantidades de humus.

Para predecir la evolución de la materia orgánica del suelo se ha desarrollado un gran número de modelos teóricos, pero el que se considera de más fácil aplicación es el de Henin y Dupuis (1945), que en esencia consiste en una simplificación del modelo teórico de la cinética de primer orden monocompartimental propuesto por Sinha et al. (1977) y Van Veen y Paul (1981), donde se considera que la velocidad de mineralización es proporcional al contenido de materia orgánica, mientras que la constante de proporcionalidad es independiente de tal contenido.

El modelo de Henin y Dupuis puede emplearse para la estimación del balance de materia orgánica en el suelo. En dicho modelo, a las pérdidas por mineralización de la materia orgánica se le oponen las ganancias que supone el humus generado a partir de los residuos vegetales de los cultivos precedentes (raíces y parte de restos de cultivos incorporados) y del que proviene de las incorporaciones de abonos orgánicos. Según estos autores, la cantidad de humus formada en un año es igual a:

$$MO_{\text{humificada}} = K_1 \times (MO)_{\text{aportada}}$$

siendo K_1 el coeficiente isohúmico, que indica la fracción de humus (expresada en porcentaje o tanto por uno) que se forma por unidad de peso de materia seca aportada al suelo y que depende, según Monnier (1989), esencialmente de la naturaleza del material orgánico aportado: contenido en lignina, azúcares, celulosas, compuestos nitrogenados, etc. Cuanto más rico en lignina es, más humus produce y cuantos más azúcares, celulosas y compuestos nitrogenados posee, más rápidamente se mineraliza y menos humus genera.

Las pérdidas de materia orgánica son debidas, principalmente, al humus que ha sido mineralizado. Su tasa anual depende de los tipos de suelo y su manejo, de la naturaleza de los cultivos, de la intensidad de la actividad biológica, de los niveles de irrigación, del laboreo, del clima, etc. y viene definida según este modelo por K_2 , denominado coeficiente de mineralización, que

indica el porcentaje o el tanto por uno de humus del suelo que se mineraliza anualmente. Así pues, la materia orgánica que se mineraliza en un año se calcula empleando la fórmula siguiente:

$$MO_{\text{mineralizada}} = K_2 \times (MO)_{\text{inicial}}$$

Por tanto el balance de materia orgánica anual (BAMO) se calcula como:

$$BAMO = (\sum_{\text{m.o.f.}} K_1 \times C) - K_2 \times MO_{\text{suelo}}$$

donde el sumatorio hace referencia al producto de la cantidad de materia orgánica seca de cada tipo (restos, estiércoles, etc.) por su correspondiente índice K_1 de humificación.

A pesar de su difusión, el modelo de Henin-Dupuis descansa sobre una limitada base experimental, y en las contadas ocasiones en las que se ha estudiado a fondo su validez, se ha comprobado que su carácter monocompartimental resulta demasiado simple para describir correctamente la evolución de la materia orgánica del suelo. Es por ello que se han propuesto otros modelos de mayor complejidad, como el de Janssen (1984), para predecir la descomposición y acumulación de la materia orgánica fresca. Este modelo propone que el valor del coeficiente de humificación disminuye gradualmente con el tiempo, siguiendo un patrón similar en los distintos materiales orgánicos, e introduce el término de edad inicial aparente que está relacionado con dicho coeficiente, y que varía desde un año para los restos vegetales a 14 años para las turbas. Diferentes autores han propuesto otros modelos, como Jenkinson y Rayner, 1977; Kolenbrander, 1981; Boiffin et al., 1986, etc. No obstante, el modelo de Henin-Dupuis se sigue utilizando, debido sobre todo a la inexistencia de los datos necesarios para poder aplicar métodos alternativos más complejos a las situaciones reales de campo.

Extracción de nutrientes por el cultivo

Cuando se cultivan especies vegetales de forma continua sin restitución de nutrientes se produce una disminución a largo plazo del rendimiento de la cosecha. Esto se ha demostrado de manera muy gráfica en experiencias llevadas a cabo con cereales como el centeno, donde el rendimiento sin aplicación de fertilizantes fue descendiendo progresivamente siguiendo una tendencia exponencial hasta un nivel de equilibrio de 900 kg grano/ha, a pesar de que el centeno no es un cultivo de gran exigencia en nutrientes. La exportación media anual para 900 kg de grano/ha es de 20 kg N, 4 kg de K, 3 kg de P y 1 kg o menos de Mg. 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 la fijación simbiótica, pero las considerables extracciones de fósforo, calcio, potasio y magnesio, pueden llegar a agotar las reservas, por lo que los últimos nutrientes se convertirían en los factores limitantes de su producción (Loomis y Connor, 2002).

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

Como ya se ha ido perfilando 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 es difícil 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 modo que el agricultor puede determinar la cantidad de elementos fertilizantes que debe aportar al sistema para que no se produzcan ni deficiencias ni excesos.

La cantidad de nutrientes que absorbe la planta depende de la cantidad de biomasa producida en los distintos órganos de la 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 las mismas como puede ser las características del suelo y del agua, la variedad, el ciclo del cultivo, el sistema de riego, el marco de plantación, las condiciones del cultivo, el rendimiento obtenido, etc.

Esta variabilidad se puede ver reflejada en la Tabla 1, donde se recogen algunos de los 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 este estudio.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que la cantidad de nutrientes extraída del suelo por la planta no tiene por qué coincidir con la necesidad de la misma en productos fertilizantes, debido fundamentalmente a tres factores:

- 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 va a proceder de otras fuentes, como son la fracción asimilable del suelo, el agua de riego, las enmiendas orgánicas, la fijación biológica, etc.
- además, hay que tener en cuenta los procesos de transformación que van a sufrir los fertilizantes en el suelo, que pueden traducirse en pérdidas (volatilización, lixiviación, desnitrificación, etc.) o disminución en la asimilabilidad de los nutrientes (retrogradación, inmovilización, etc.), provocando un aprovechamiento parcial de los fertilizantes aplicados por el cultivo.

Tabla 1. Extracciones de macronutrientes obtenidas por diferentes autores

Cultivo	Rendimiento (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Fuente
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
Alcachofa						
Total	23,9	229	104	478	31	Anstett (1965)
Capítulos	-	80	34	108	14	cv. Gros Vert de Laon
Total	22,5	271	87	575	62	Pomares y Tarazona (1995)
Capítulos	-	75	29	115	16	cv. Blanca de Tudela
Apio						
Cosecha	80,5	196	146	560	19	Prats (1970) cv. Dorado barbier
Cosecha	20	130	50	200	--	Jacob y Von Uesküll (1973)
Brócoli						
Total	--	559	53	868	--	Magnífico (1979)
Pellas	32,3	59	9	172	--	
Total	--	153	48	208	18	Shelp y Liu (1992)
Pellas	--	32	11	35	3	
Cebolla						
Bulbos	31,8	116	44	144	29	Prats (1970) cv. Taif de Vaugirard
Bulbos	30	80	40	120	--	Jacob y Von Uesküll (1973)

Tabla 1. Extracciones de macronutrientes obtenidas por diferentes autores (Continuación)

Cultivo	Rendimiento (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Fuente
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
Coliflor						
Total	--	198	66	295	22	Anstett (1965) Coliflor de verano
Pellas	37,5	151	47	227	17	
Total	--	363-373	68-103	291-373	53-56	Casas (1994) Coliflor de otoño. Goteo.
Pellas	44-47	108-125	27-36	107	8-9	
Hinojo						
Bulbos	--	55	20	120	--	Fersini (1976)
Judía verde						
Total	35,9	174	48	198	10	Anstett (1965)
Total	22,4	135-219	7,8-13,5	58-62	6	Knott (1962)
Lechuga Iceberg						
Primavera	--	80	27	195	20	Rincon (1991)
Invierno	--	95	36	244	25	
Lechuga Little gem						
Invierno	11,8	16,7	7,7	31,4	--	Pomares (2003)
Invierno	13,5	17,2	8	32,3	--	
Lechuga Romana						
Otoño	67,9	136	44	246	33	Corbí (1993)
Otoño	75,6	113	46	193	18	
Maíz dulce						
Mazorcas	20,9	85,0	37,5	59,4	--	Pomares (2003)
Mazorcas	19,8	86,2	33,7	58,4	--	
Mazorcas	26,5	111	56,5	81	--	
Patata						
Total	83,4	234	24,3	339	33,8	Tarazona (1992) 2 cv. Jaerla y Desireé
Total	95,6	274	32,7	480	63,1	
Tubérculos	27	224	50	291	30	Knott (1962)
Pimiento						
Frutos	13,4	111	17,2	136	34	Millar (1979) Var. Keystone Resistant Giant
Frutos	54	201	56	269	40,6	INFULVEC (1970) cv. Pimiento dulce de las Landas

Tabla 1. Extracciones de macronutrientes obtenidas por diferentes autores (Continuación)

Cultivo	Rendimiento (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Fuente
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
Sandía						
Frutos	33,2	84	42	81	54	Quesada (1990)
Frutos	58-95	148-206	26-39	282-347	44-58	Barona (1994)
Tomate						
Frutos	60	136	55	232	36	Anstett (1965)
Frutos	50	290	96	680	76	cv. Moneymaker Cornillon (1974)

Materiales y Métodos

Generalidades. El proyecto VEGINECO

Los resultados de este trabajo se han obtenido en el marco del proyecto europeo Integrated and Ecological Vegetable Production, cuyo acrónimo es VEGINECO, que tuvo como objetivo fundamental desarrollar sistemas agrarios integrados y ecológicos más sostenibles en términos agronómicos, ambientales y económicos, que aseguren una alta calidad de los productos, minimizando el impacto ambiental y los riesgos para la salud, para atender así a las demandas del mercado. Con ello se busca compatibilizar una producción aceptable y de buena calidad con un reducido empleo de factores de la producción (fertilizantes, fitosanitarios, etc.) y un mínimo impacto ambiental.

El marco geográfico del referido proyecto se ha circunscrito a cuatro importantes regiones productoras de hortalizas en Europa (Emilia Romagna en Italia, Sudoeste de Holanda, Suiza y la Comunidad Valenciana), seleccionadas por ser representativas de diferentes condiciones socioeconómicas, así como de distintos tipos de suelo y condiciones climáticas.

La metodología utilizada ha sido la de los prototipos de sistemas agrarios desarrollada para cultivos extensivos por Vereijken (1994), pero adaptada a los cultivos hortícolas. Esta metodología, todavía en fase experimental, se desarrolla en cuatro etapas o fases:

Fase I. Análisis y diagnóstico del sector productivo

En esta primera fase se evalúan y analizan los siguientes aspectos: estadística sectorial (superficie y producciones por cultivos), estructura de las explotaciones, conocimientos actuales de agroecología, impacto ecológico-ambiental, tendencias en los cambios estructurales y situación socioeconómica de la zona.

Basándose en las deficiencias de las prácticas agrícolas actuales y en las perspectivas futuras, en esta fase se pretende establecer una jerarquía de objetivos a cumplir cuando se diseñan sistemas agrarios sostenibles. Los objetivos a perseguir son los siguientes: obtención de producciones de alta calidad y de bajo impacto ambiental, creando paisajes atractivos y diversificados, que sean duraderos y que conlleven a un manejo sostenible de los recursos. Con el fin de cuantificar cada uno de estos objetivos se ha determinado una serie de parámetros (véase Tabla 2) a los que se les asigna un valor óptimo que se pretende alcanzar, de acuerdo con los conocimientos científicos, la experiencia práctica

Tabla 2. Parámetros que se han estudiado en el proyecto VEGINECO

Parámetros	Definición	Objetivo
Producción		
Cantidad de cosecha (CNC)	Rendimiento obtenido (kg/ha) dividido por el rendimiento óptimo (kg/ha)	CNC \geq 1
Calidad de la cosecha (CLC)	Producción de primera clase dividido por la media de la producción de primera clase de esa región	CLC \geq 1
Contenido de nitrato (NCONT)	Contenido de NO ₃ ⁻ (mg/kg materia fresca) en cultivos de hoja	NCONT<2500 (mg/kg m.f.)
Balance de nutrientes y riesgo de contaminación		
Balance anual de P ₂ O ₅ (BAP)	Aportes anuales de P ₂ O ₅ y K ₂ O divididos por la exportación anual de estos nutrientes	Dependerá de las reservas de nutrientes: BAP/BAK>1 cuando RDP/RDK estén por debajo del nivel deseado y viceversa. BAP/BAK = 1 cuando RDP/RDK estén en el rango óptimo
Balance anual de K ₂ O (BAK)		
Reserva de N disponible (RND)	Reservas de N _{min} en el suelo(0-100cm) al inicio de la época más lluviosa	RND<50 kg/ha RND<45 kg/ha en suelos arenosos RND<70 kg/ha en suelos arcillosos
Riesgo ambiental de los fitosanitarios		
Plaguicidas sintéticos (Pest-sint)	Aportes de materias activas en kg/ha por año	< 50% de la dosis media en cultivo convencional
Aporte de cobre (Pest-Cu)	Aportes de Cu en los pesticidas (kg/ha por año)	Reducción del 70% de la dosis media en cultivo convencional
Impacto ambiental de los plaguicidas: - sobre suelo y aire - sobre el agua freática	Peligro potencial de emisión de sustancias tóxicas al aire, agua subterránea y suelo.	- Reducción del 70% con respecto al impacto medio - nivel de plaguicidas < 0,5 ppb
Naturaleza y paisaje		
Infraestructura ecológica (IE)	Referida a los setos adyacentes, capaces de albergar fauna auxiliar	IE>5%
Uso sostenible de los recursos		
Reservas de P ₂ O ₅ disponible (RDP) Reservas de K ₂ O disponible (RDK)	Reservas de P ₂ O ₅ y K ₂ O en el suelo (mg/kg suelo) disponible para las plantas	Deben mantenerse dentro de unos intervalos adecuados agronómica y ambientalmente xp<RDP>yp xk<RDK>yk
Balance anual de materia orgánica (BAMO)	Relación entre los aportes anuales y las pérdidas de materia orgánica por mineralización	Para preservar el contenido de materia orgánica: BAMO \geq 1
Viabilidad del sistema		
Rentabilidad neta (RN)	Relación entre el total de ganancias y de costes (incluyendo el laboreo) por hectárea	RN \geq € 0
Número de horas de trabajo manual para el control de la flora adventicia	Se emplea como un indicador de la eficacia del control de adventicias mecánico y/o químico	Deberían ser lo más bajas posible

y las exigencias legislativas, al que deberán ir aproximándose los prototipos de sistemas agrarios diseñados en este estudio.

Fase II. Diseño del prototipo

En base a los resultados de la fase anterior, se diseña en cada zona diferenciada de cultivo un prototipo inicial de sistema (integrado o ecológico), constituido fundamentalmente por los siguientes elementos básicos: rotación de cultivos, programa de gestión del suelo (laboreo, fertilización, etc.), el programa de riego, estrategia de control sanitario, mejora de la infraestructura ecológica, etc.

Fase III. Ensayo, evaluación y mejora del prototipo

El prototipo diseñado se ensaya en cada explotación experimental y anualmente se evalúan los resultados obtenidos en los distintos parámetros (indicadores de sostenibilidad) seleccionados, y en función de las discrepancias entre los valores resultantes y los planteados como objetivo se modifican las técnicas o métodos multifuncionales incluidas en el prototipo con la finalidad de lograr su mejora progresiva hasta la consecución de resultados plenamente satisfactorios en todos o en la mayoría de los parámetros seleccionados.

Fase IV. Transferencia de resultados al sector

Una vez demostrada la viabilidad y adecuación del prototipo en todos los aspectos básicos de sostenibilidad (económica, social y ambiental), se puede realizar la transferencia de los resultados al sector para su aplicación con el diseño final (mejorado) del prototipo o con algunas modificaciones accesorias.

En la Comunidad Valenciana el proyecto se ha desarrollado concretamente en tres sistemas de producción integrada y uno de producción ecológica, en diferentes etapas:

Diseño del prototipo inicial de sistemas

En cada sistema se aplicó una rotación de cultivos hortícolas de cuatro hojas o sectores. En el diseño de las rotaciones se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Selección de cultivos de alto interés económico, comercializables en la zona de producción
- No repetir cultivos de la misma familia a ser posible en los cuatro años de rotación
- Uso de cultivos adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la zona
- Ajustar los diferentes cultivos en el tiempo para cumplir los fines de la rotación
- Minimizar la incidencia de plagas y enfermedades
- Buscar la máxima cobertura del suelo

A su vez durante esta etapa se prefijaron los parámetros y la estrategia de fertilización que se iba a seguir en el transcurso de la experiencia. El cálculo del abonado nitrogenado se realizó a partir de las exigencias nutritivas de cada cultivo de la rotación en base al rendimiento previsible (Tabla 3), deduciendo de éstas el nitrógeno disponible procedente de otras fuentes distintas a los fertilizantes como: nitrógeno inorgánico asimilable existente en el suelo al inicio del cultivo, nitrógeno mineralizable a partir de los abonos orgánicos y restos del cultivo anterior (Tabla 4) y el nitrato aportado por el agua de riego, obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$N \text{ aportado} = \frac{\text{Dosis de agua (m}^3 \text{ / ha)} \times \text{Nitratos (mg / L)}}{4.400}$$

Tabla 3. Necesidades en elementos fertilizantes utilizadas en los programas de fertilización del proyecto VEGINECO

Cultivo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(kg/ha)		
Alcachofa	200-250	80-120	200-250
Apio	250-300	100-150	250-300
Brócoli	200-250	80-120	200-250
Cebolla	150-200	80-120	200-250
Coliflor	200-250	80-120	200-250
Hinojo	150-200	60-90	200-250
Judía verde	100-150	60-90	100-150
Lechuga Iceberg	120-150	50-80	180-220
Lechuga Little gem	50-80	30-50	80-120
Lechuga Romana	150-180	60-90	200-250
Maíz dulce	150-200	80-120	150-200
Patata	250-300	80-120	250-300
Pimiento	180-240	80-120	250-300
Sandía	180-250	80-120	250-300
Tomate	180-240	80-120	250-300

Tabla 4. Coeficientes de mineralización del nitrógeno de diferentes restos de cultivo y enmiendas orgánicas

Cultivo / Abono verde / Estiércol	Coefficiente de mineralización del N (%) durante el primer año
Lechuga	50
Patata	50
Veza	50
Alcachofa	30
Hinojo	30
Sandía	30
Coliflor	30
Pimiento	30
Tomate	30
Judías verdes	30
Estiércol de bovino	20-30
Estiércol de ovino	30-50
Gallinaza	40-60
Compost de lodos de depuradora	20-40

Asimismo, la fertilización fosfopotásica se realizó a partir de las exigencias nutritivas de cada cultivo (Tabla 3), aplicando a éstas unos factores de corrección (Tabla 5) en base al nivel de fósforo y potasio asimilables en el suelo (Tablas 6 y 7), restando a éstas las cantidades de estos elementos liberados a partir de los productos orgánicos y de los residuos del cultivo anterior.

Tabla 5. Factores para corregir las necesidades en fertilización fosfo-potásica en función del nivel de fósforo o potasio asimilable que contiene el suelo

Nivel de fertilidad	Factor corrector
Muy bajo	1,5
Bajo	1,3 – 1,4
Adecuado	0,8 – 1,2
Alto	0,1 – 0,7
Muy alto	0

Otros aspectos que se establecieron durante esta fase fueron el programa de control sanitario (de acuerdo con las normativas de producción integrada y ecológica), el mantenimiento del suelo con el mínimo laboreo y el establecimiento de una reserva ecológica adecuada.

Evaluación del sistema

Para ello se compararon anualmente los resultados obtenidos con una serie de parámetros indicadores de sostenibilidad, prefijando previamente unos valores considerados como deseables (Tabla 2).

Tabla 6. Niveles críticos de fósforo asimilable (método Olsen) para interpretar los análisis de suelos

Tipo de suelo	Niveles de fósforo asimilable (mg P/kg suelo)				
	Muy bajo	Bajo	Adecuado	Alto	Muy alto
Arenoso ¹⁾	<11	11-20	20-30	30-50	>50
Franco ²⁾	<16	16-30	30-45	46-60	>60
Arcilloso ³⁾	<20	20-35	35-50	50-70	>70

¹⁾Arcilla <10%; ²⁾ Arcilla 10-30%; ³⁾ Arcilla >30%

Mejora del prototipo

Al evaluar los resultados se intentó determinar las causas responsables de cualquier desviación frente a los objetivos prefijados, introduciendo las modificaciones pertinentes en la rotación, en la fertilización, en el control sanitario, etc., con la finalidad de mejorar progresivamente los resultados del sistema.

Tabla 7. Niveles críticos de potasio asimilable (método acetato amónico) para interpretar los análisis de suelos

Tipo de suelo	Niveles de potasio asimilable (mg K/kg suelo)				
	Muy bajo	Bajo	Adecuado	Alto	Muy alto
Arenoso ¹⁾	<50	50-100	100-200	200-300	>300
Franco ²⁾	<75	75-150	150-300	300-450	>450
Arcilloso ³⁾	<100	100-200	200-400	400-600	>600

¹⁾Arcilla <10 % ²⁾ Arcilla 10-30 % ³⁾ Arcilla >30 %

Los sistemas ensayados en el marco del presente trabajo fueron cuatro: Sistema Integrado 1 (Pilar de la Horadada), Sistema Integrado 2 (Benicarló), Sistema Integrado 3 (Paiporta) y Sistema Ecológico 1 (Paiporta).

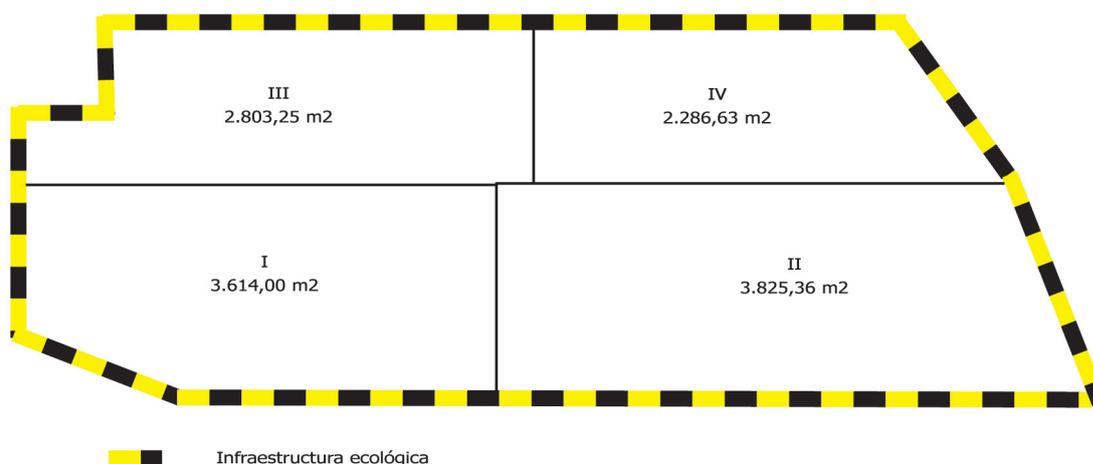
Sistema Integrado 1 (Pilar de la Horadada)

Este sistema se encuentra en el término municipal de San Javier, muy próximo al mar Mediterráneo, en la zona limítrofe del norte de la provincia de Murcia y el sur de la provincia de Alicante. El clima de esta zona se caracteriza por una media de precipitación anual de 292 mm y una temperatura media anual de 18,2 °C.

Este sistema, de 1,26 hectáreas de extensión y propiedad de Benjamín Samper, agricultor socio de SURINVER (Cooperativa Agrícola de Pilar de la Horadada), está ubicado en una zona de agricultura intensiva, tanto al aire libre como bajo invernadero, donde también se cultivan, en menor cantidad, cítricos. El suelo es de textura franco-arcillosa y el agua de riego procede del trasvase Tajo-Segura, tratándose de un agua con una calidad agronómica de C3S1 según las normas de clasificación Riverside, es decir, un agua con un alto riesgo de salinización del suelo y muy bajo de alcalinización. Sin embargo, según la clasificación FAO el agua presenta una calificación de ligera a moderada en salinidad y en problemas de infiltración del agua.

El sistema está dotado de un seto formado por *Inula viscosa*, *Nerium oleander*, *Rosmarinus sp.* y *Ricinus communis*. La disposición de éste y de los cuatro bloques que forman el sistema se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Esquema del Sistema Integrado 1



La rotación de cultivos fue la siguiente:

Bloque	Invierno			Primavera			Verano			Otoño			
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
1	Veza - Avena				Pimiento				Little gem				Little g.
2	Little gem		Maíz				Brócoli				Lechuga		
3	Lechuga		Cebolla							Apio			
4	Apio			Sandía							Veza - Avena		

Siendo el único sistema donde no se modificó la rotación en los tres años de duración del estudio. Los principales cultivos de este sistema fueron el pimiento, la lechuga Little gem, el apio y la sandía. Se les da la denominación de cultivos principales por ser los de mayor rentabilidad. La rotación de cultivos se inició con un abono verde, que tiene como finalidad la mejora de la estructura y la fertilidad del suelo antes de la implantación de uno de los cultivos principales como es el pimiento. A continuación le siguen dos cultivos de lechuga, debido a que son mucho menos exigentes en la demanda de nutrientes y presentan menor riesgo de incidencia del virus TSW en los ciclos de otoño e invierno. El apio, otro de los cultivos principales, es implantado en el ciclo de otoño-invierno por razones de rendimiento económico y porque en esa época es menos sensible a ataques de áfidos y de dípteros como la *Liriomyza sp.* Por último, la sandía no se introduce hasta el verano siguiente debido a que la demanda de nutrientes es mucho mayor y por su pertenencia a un grupo de incidencia fitopatógena diferente al del apio. El resto de cultivos se consideran secundarios ya que, aunque frecuentes en la zona, son de menor rentabilidad y se emplean para rellenar los huecos que quedan en la rotación.

Sistema Integrado 2 (Benicarló)

Esta parcela se encuentra en Benicarló, municipio del noroeste de la provincia de Castellón, donde podemos encontrar cultivos de secano, como algarrobo, almendro y olivo, cítricos y cultivos hortícolas. El clima de esta zona se caracteriza por una media de la precipitación anual de 482 mm y una temperatura media anual de 16,3 °C.

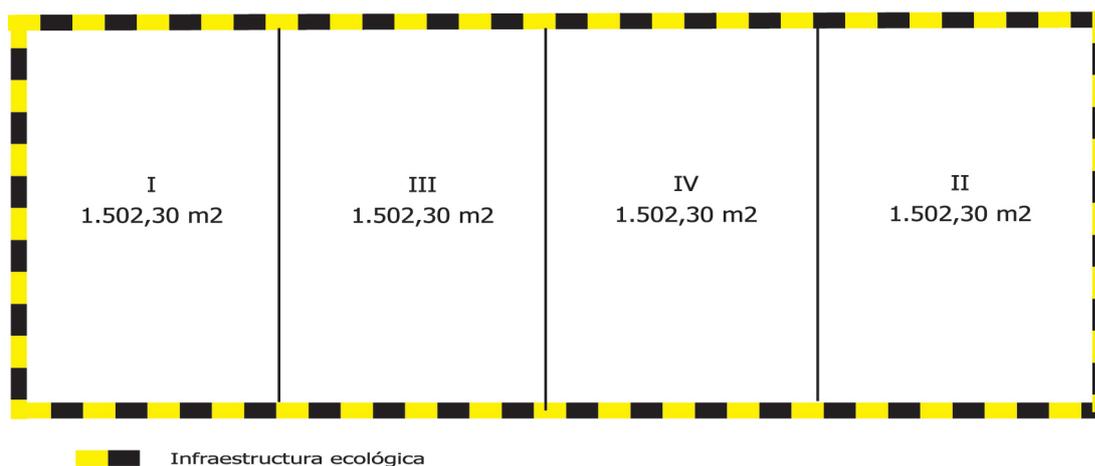
La parcela es propiedad de Juan Forest, agricultor socio de la Cooperativa Agrícola San Isidro de Benicarló, encontrándose incluida en una explotación agraria, y su superficie es de 0,60 hectáreas.

El suelo se caracteriza por ser pedregoso, encontrándose la roca originaria a unos 45 cm de profundidad. La textura del suelo es franco-arcillosa.

El agua utilizada para el riego procede de un pozo particular y su calidad agronómica es de C3S1 según las normas de clasificación Riverside, es decir un agua con alto riesgo de salinización y muy bajo de alcalinización. Sin embargo, según la clasificación FAO el agua presenta una salinidad de ligera a moderada, pero ninguna restricción de uso por problemas de infiltración.

El seto presente en este sistema está formado por especies como *Coronilla glauca*, *Inula viscosa* y *Rosmarinus sp.* La distribución de las subparcelas y la disposición del seto se puede observar en el plano que se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Esquema del Sistema Integrado 2



La rotación inicial propuesta para este sistema es la que se muestra a continuación:

Bloque	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1		Lechuga			Sandía					Coliflor		
2		Veza - Avena					Alcachofa					
3	Alcachofa					Tomate					Cebolla	
4	Cebolla		Judía verde							Lechuga		

La alcachofa, la lechuga, el tomate y la coliflor son los cultivos que se consideran principales en este sistema. Al tratarse de un área con serios problemas de virosis (TSWV y CMV, principalmente), se han seleccionado los periodos de crecimiento de la lechuga con menor incidencia de estas enfermedades, como son el otoño y el invierno. A su vez, se han tenido que escoger variedades de tomate resistente y tolerante al mismo virus, que permitan un ciclo de verano-otoño, por mejores precios en el mercado.

En el año 1998 únicamente se cultivaron las siguientes especies:

Año 98	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1					Sandía						Coliflor	
2							Alcachofa					
3						Tomate						Cebolla
4										Lechuga		

Para el siguiente año el modelo se mantuvo, pero ante el retraso que suponía el cultivo de la cebolla en la rotación, se realizaron algunos cambios que permitiesen subsanar este contratiempo. Para ello se optó por plantar la judía verde en el bloque 1, detrás de la coliflor. El abono verde se sembró en el bloque 3, donde iba la judía, pero debido al retraso en la fecha de plantación se cambió la veza – avena por maíz.

Año 99	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
Bloque	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	Coliflor		Judía verde					Alcachofa				
2	Alcachofa						Tomate					
3	Cebolla				Restos cultivo (maiz)				Lechuga			
4		Lechuga			Sandía					Coliflor		

En el año siguiente, para solucionar este problema, se pasó a la opción de prescindir de la cebolla, dejando la judía verde y la veza-avena como estaban en la rotación original.

Año 00	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
Bloque	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1			Semilla alcachofa					Tomate				
2			Judía verde						Lechuga			
3		Lechuga			Sandía				Coliflor			
4		Veza – Avena						Alcachofa				

Sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 (Paiporta)

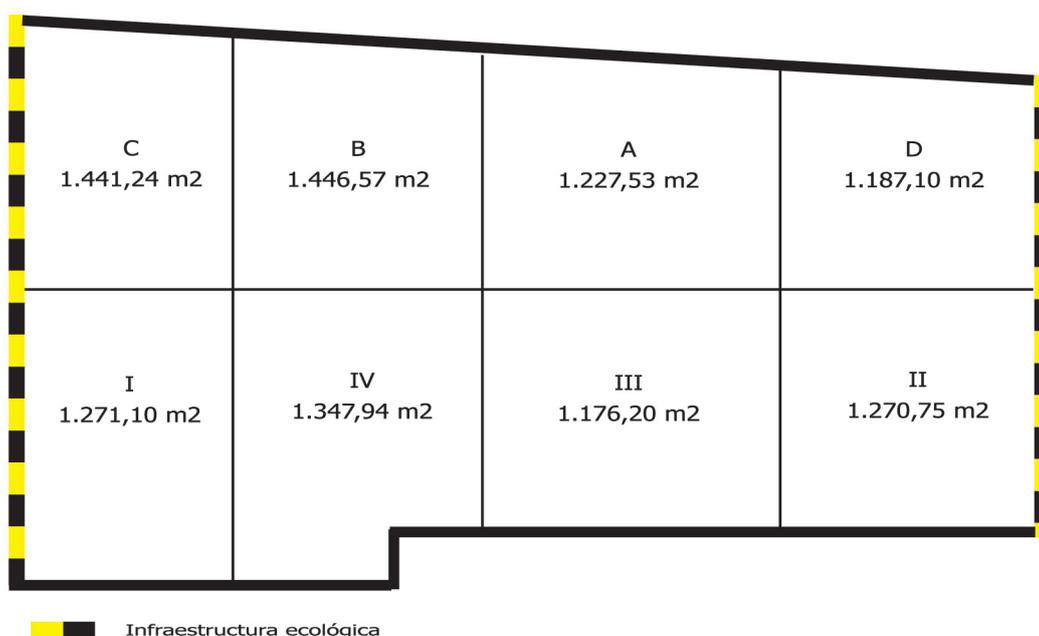
Estos dos sistemas se encuentran en el término municipal de Paiporta, situado en la provincia de Valencia, y forman parte del campo de experimentación agraria de la Fundación RuralCaja de Valencia. Las superficies de los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 son de 0,42 y 0,47 hectáreas, respectivamente. En esta zona los cultivos predominantes son los cítricos y los cultivos hortícolas. El clima se caracteriza por una media de precipitación anual de 464 mm y una temperatura media anual de 17,5 °C.

El suelo es de textura franco-arcillosa y el agua utilizada para el riego procede de un pozo, siendo la concentración de nitratos muy elevada, 400 mg NO₃⁻/L. En esta localidad, el agua de riego es de peor calidad agronómica, ya que presenta un peligro de salinidad muy alto, aunque el peligro de incorporación de sodio al complejo adsorbente del suelo sigue siendo bajo, con una calificación de C4S1, según las normas Riverside. Si se emplea la clasificación FAO, no obstante, el agua está calificada como ligera o moderadamente salina y sin ningún problema de infiltración.

El seto que se encuentra rodeando a la parcela está formado por plantas de las especies *Myoporum pictum*, *Coronilla glauca*, *Dorycnium pentaphyllum* y *Medicago strasseri*. En la Figura 6 se muestra

la disposición del seto y la distribución de las dos parcelas. Los bloques I, II, III y IV pertenecen al sistema integrado, mientras que los A, B, C y D son los correspondientes al sistema ecológico.

Figura 4. Esquema del Sistema Integrado 3 y Ecológico 1



Las rotaciones seguidas en los dos sistemas, tanto de producción integrada como ecológica, fueron la misma y se recogen en la figura siguiente:

Bloque	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1 / A	Patata					Lechuga			Hinojo			
2 / B	Lechuga			Veza - Avena					Alcachofa			
3 / C	Alcachofa								Lechuga			Ce
4 / D	Cebolla					Sandía			Coliflor			

Los cultivos que se consideran principales en estos sistemas son la patata, la cebolla, la alcachofa y la sandía. Se ha optado por realizar el cultivo de la patata durante el invierno, con la finalidad de obtener una mejor rentabilidad, ya que a mediados de primavera, época en que se recoge la cosecha, los precios de venta suelen ser más altos. La alcachofa se incluye a continuación de un abono verde, por tratarse de un cultivo que extrae gran cantidad de nutrientes del suelo. A pesar de que la lechuga y la alcachofa son de la misma familia botánica, se han propuesto como cultivos precedentes a la cebolla con la finalidad de que minimicen el frecuente riesgo de aparición de adventicias, por tratarse de especies que presentan una alta cobertura vegetal al suelo, facilitando así el control de malas hierbas.

Los cultivos que se practicaron en el primer año fueron los siguientes:

Año 98	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
Bloque	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1 / A						Lechuga			Hinojo			
2 / B							Alcachofa					
3 / C									Lechuga			Cebolla
4 / D					Sandía					Coliflor		

En el año 1999 se sustituyó la lechuga de otoño por judía verde debido a la gran incidencia de áfidos que presentó la lechuga, con la configuración siguiente:

Año 99	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
Bloque	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1 / A		Lechuga			Restos (Avena)		Alcachofa					
2 / B	Alcachofa						Judía verde				Cebolla	
3 / C	Cebolla			Sandía						Coliflor		
4 / D		Patata				Lechuga				Hinojo		

Finalmente, en el año 2000 se optó por eliminar la lechuga de verano debido a los numerosos problemas fitosanitarios que presentó.

Año 00	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
Bloque	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1 / A	Alcachofa						Judía verde				Cebolla	
2 / B	Cebolla			Sandía					Coliflor			
3 / C	C	Patata						Hinojo				
4 / D		Avena						Alcachofa de semilla				

En el presente trabajo se van a determinar los balances de macronutrientes y de materia orgánica en cuatro sistemas de rotación de cultivos hortícolas durante los años 1998, 1999 y 2000. Para el cálculo de estos balances se han tenido en cuenta las aportaciones anuales de nutrientes que se realizan con el abono orgánico, el fertilizante mineral y el agua de riego, y las pérdidas derivadas de las extracciones de la cosecha recolectada así como de los residuos retirados de la parcela. Para ello se han realizado muestreos de campo y un trabajo de laboratorio posterior basado en el análisis del material vegetal, con el que se podrán determinar las extracciones de nutrientes realizadas por los cultivos; del agua de riego y las enmiendas orgánicas, para estimar la entrada de macronutrientes al sistema; y del suelo, permitiendo así un seguimiento de los contenidos de nutrientes asimilables.

Toma y preparación de las muestras

La toma de muestras de suelo se realizó siempre al inicio y al final de cada cultivo de la rotación. Para ello se empleó una barrena cilíndrica introducida manualmente en 20 puntos aleatorios en cada uno de los bloques de las parcelas. Se obtuvieron muestras de suelo a tres profundidades (0-30 cm; 30-60 cm y 60-90 cm) para la determinación de nitrógeno mineral, excepto en la parcela de Benicarló que, como ya se ha indicado anteriormente, tiene una capa de suelo muy poco profunda. Al encontrarse la roca madre a una profundidad de unos 45 cm, solo se recogieron muestras de suelo a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm). Hay que señalar que para las determinaciones de P_2O_5 , K_2O , MgO y materia orgánica únicamente se utilizaron las muestras de la capa 0-30 cm, más o menos correspondiente a la capa arable. Las muestras de cada uno de los bloques y cada profundidad se conformaron de la mezcla homogénea de las 20 submuestras obtenidas.

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 (NH_4^+ y NO_3^-) que se tamizó a través de una malla de 5 mm y se conservó en una cámara frigorífica, y 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.

En cuanto al material vegetal, para cada uno de los cultivos se han tomado muestras separadas de la parte comestible de la planta y de las restantes partes de la misma, y muestreos de los restos que quedan tras la cosecha al final del cultivo, para poder así realizar correctamente los balances de nutrientes y de materia orgánica.

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 a 60-65 °C. Una vez totalmente secas las muestras, se pesaron de nuevo para determinar su porcentaje de humedad. La trituración final se llevó a cabo con un molino de hélice.

En lo que respecta a las muestras de enmiendas orgánicas, se determinó la humedad a 60-65 °C en una porción de la muestra en fresco y el resto se secó al aire o en una estufa de secado, triturándolas finalmente con un molino de hélice.

Metodologías analíticas

Salvo indicación contraria, las metodologías empleadas para los suelos y los abonos orgánicos fueron las descritas en los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1986), o ligeras modificaciones:

- Porcentaje de humedad: desecación en estufa a 105 °C hasta peso constante.
- Materia orgánica total (enmiendas): calcinación en horno mufla a 560 °C, durante 3 horas.
- Materia orgánica oxidable (enmiendas y suelos): método de Walkey-Black. Oxidación fría con $K_2Cr_2O_7$.
- pH: medición directa (pH-metro Radiometer Copenhagen PHM82) en extracto acuoso 1:2,5 (enmiendas) o 1:5 (suelos).
- Conductividad eléctrica: medición directa (conductivímetro Radiometer Copenhagen CDM-3) en extracto acuoso 1:5 (enmiendas) o de saturación (suelos).
- Fósforo soluble en bicarbonato sódico (suelos): extracción básica con $NaHCO_3$ 0,5M y determinación colorimétrica (método Olsen).
- Fósforo total (enmiendas): extracción ácida con HCl 2M en cenizas de calcinación y determinación colorimétrica mediante molibdato sulfúrico e hidroquinona.
- Potasio y magnesio asimilables (suelos): extracción con acetato amónico 1M y determinación por espectrofotometría de llama (emisión atómica para el potasio y absorción atómica para el magnesio).
- Potasio y magnesio totales (enmiendas): extracción ácida con HCl 2M en cenizas de calcinación y determinación por espectrofotometría de llama (emisión atómica para el potasio y absorción atómica para el magnesio).
- Nitrógeno orgánico (enmiendas y suelos): método Kjeldahl.
- Nitrógeno nítrico y amoniacal (enmiendas): extracción con KCl 2M y 2 destilaciones Kjeldahl sobre el mismo extracto (MgO y aleación Devarda como álcali y agente reductor, respectivamente).

- Nitratos (suelos): espectrofotometría ultravioleta (Perkin-Elmer 550 UV-VIS Spectrophotometer), utilizando el método de la segunda derivada del espectro de absorción (Sempere et al., 1993). La extracción se realizó mediante agitación durante 30 minutos con una solución de CaSO_4 saturada (10 gramos de suelo y 30 ml de solución extractante) y posterior centrifugación a 3000 r.p.m. durante 5 minutos. A continuación, el extracto de suelo se analiza en un espectrofotómetro ultravioleta-visible, mediante un barrido de longitudes de onda entre 195 a 280 nm, tomándose la absorbancia máxima, centrada alrededor de los 215 nm. Se hace el mismo barrido a seis patrones de concentración de nitrato entre 0 y 25 mg/l, que es cuando la curva de calibración es lineal.

Si la lectura es menor a 0,054, el contenido de nitratos del extracto se determina según la fórmula:

$$\text{NO}_3^- = ((L \times 0,5) - 0,37) \times 0,226 \times 3$$

y cuando la lectura es mayor que 0,054, la fórmula que se debe utilizar es:

$$\text{NO}_3^- = \frac{178,85 \times L}{2,79 \times (178,85 - L)}$$

en ambos casos, L indica la lectura de la absorbancia máxima, y la concentración de nitratos en el extracto se obtiene en mg/L.

Para la caracterización del agua de riego, se utilizaron igualmente las metodologías descritas en los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1986), o pequeñas modificaciones:

- pH: medición directa (pH-metro Radiometer Copenhagen PHM82) .
- Conductividad eléctrica: medición directa (pH-metro Radiometer Copenhagen PHM82).
- Nitrato: método de la segunda derivada (Sempere et al., 1993).
- Macroelementos totales: directamente por espectrofotometría de llama.
- Bicarbonatos: valoración con H_2SO_4 0,01N.
- Sulfatos: valoración con Na_2EDTA 0,01N.
- Cloruros: medida con clorímetro (Corning 926)

Las metodologías empleadas para el análisis del material vegetal fueron, lógicamente, diferentes en muchos casos a las descritas para el suelo y las enmiendas orgánicas, así como para el agua de riego.

- Para la extracción de P, K y Mg se utilizó una digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Chapman y Pratt, 1961), excepto el nitrógeno, para el que se emplea un método distinto.
- Nitrógeno total: método Kjeldhal (Bremner, 1965).
- Nitratos: extracción con agua desionizada con un 2 % de ISA y medida con electrodo selectivo de nitratos.
- Fósforo total: extracción por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Chapman y Pratt, 1961) y determinación colorimétrica mediante molibdato sulfúrico e hidroquinona.
- Potasio y magnesio total: extracción por digestión con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (Chapman y Pratt, 1961) y determinación por espectrofotometría de llama (emisión atómica para el potasio y absorción atómica para el magnesio).

Cáculo de los balances de nutrientes y materia orgánica

Cáculo de los balances de nutrientes

Se realizó el balance de nutrientes para el nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O) y magnesio (MgO). Para el cálculo del balance se necesita conocer, por un lado, las aportaciones de estos nutrientes y, por otro lado, las exportaciones por parte de los cultivos. Como ya se ha indicado, las aportaciones de nutrientes provienen del abonado y del agua de riego. Los nutrientes aportados con los abonos se calcularon conociendo las cantidades de abono aportadas, la superficie de la parcela y la riqueza en nutrientes del abono:

$$kg N / ha = \frac{\sum abono\ aportado (kg) \times \%N}{superficie\ parcela (ha) \times 100}$$

$$kg P_2O_5 / ha = \frac{\sum abono\ aportado (kg) \times \%P_2O_5}{superficie\ parcela (ha) \times 100}$$

$$kg K_2O / ha = \frac{\sum abono\ aportado (kg) \times \%K_2O}{superficie\ parcela (ha) \times 100}$$

$$kg MgO / ha = \frac{\sum abono\ aportado (kg) \times \%MgO}{superficie\ parcela (ha) \times 100}$$

Los nutrientes aportados por el agua de riego se calcularon a partir de la concentración de nutrientes (mg/L) del agua de riego obtenida mediante el análisis y la dosis de riego aplicada (m^3/ha) a los diferentes cultivos según las fórmulas siguientes:

$$kg N / ha = mg N \times m^3 / ha \times 10^{-3}$$

$$kg K_2O / ha = mg / kg K_2O \times \frac{Pm_{(K_2O)}}{2 \times Pm_{(K)}} \times m^3 / ha \times 10^{-3}$$

$$\text{kg MgO/ha} = \text{mg/kg MgO} \times \frac{Pm_{(MgO)}}{2 \times Pm_{(Mg)}} \times m^3 / \text{ha} \times 10^{-3}$$

Para el cálculo de las exportaciones de los cultivos se consideran las que corresponden a la parte del cultivo que se comercializa y las de los restos del cultivo que no fueron incorporados en el suelo.

A partir de los resultados analíticos obtenidos en las diferentes muestras del material vegetal, expresados en porcentajes sobre materia seca de N, P, K y Mg, se obtuvieron los contenidos, referidos a g/kg de m.s., de los elementos fertilizantes N, P₂O₅, K₂O y MgO mediante las siguientes fórmulas:

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

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

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

$$\text{g MgO / kg m.s.} = (\%Mg) \times 10 \times \frac{Pm_{(MgO)}}{2 \times Pm_{(Mg)}}$$

Asimismo, el porcentaje de materia seca de las muestras de material vegetal, permite expresar los resultados anteriores en kilogramo de materia fresca (m.f.):

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

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

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

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

Marta Ribó Herrero

Teniendo en cuenta la cantidad de biomasa vegetal (t/ha) sacada de la parcela (cosecha y restos de cultivos) y la superficie de ésta (ha), se calcularon los kilogramos de N, P₂O₅, K₂O y MgO por hectárea extraídos del suelo:

$$\text{kg N extraídos / ha} = (\text{g N / kg m.f.}) \times (\text{t / ha})$$

$$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ extraídos / ha} = (\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ / kg m.f.}) \times (\text{t / ha})$$

$$\text{kg K}_2\text{O extraídos / ha} = (\text{g K}_2\text{O / kg m.f.}) \times (\text{t / ha})$$

$$\text{kg MgO extraídos / ha} = (\text{g MgO / kg m.f.}) \times (\text{t / ha})$$

Cálculo de los balances de materia orgánica

En el balance de materia orgánica se tuvieron en cuenta las aportaciones de materia orgánica derivadas de los restos de cultivo incorporados, de los sustratos de las plántulas y del abono orgánico.

Para calcular la cantidad de humus producido se utilizaron los coeficientes de humificación (K₁) de cada producto y las siguientes fórmulas:

$$\text{Humus de restos de cultivo (kg / ha)} = \text{biomasa fresca (kg / ha)} \times \frac{(\% \text{m.s.})}{100} \times K_1$$

$$\text{Abono orgánico (kg / ha)} = \text{Dosis (kg / ha)} \times \frac{(\% \text{m.s.})}{100} \times \frac{(\% \text{MO})}{100} \times K_1$$

Las pérdidas de materia orgánica fueron las debidas a la mineralización de la materia orgánica del suelo, cuantificada por el coeficiente de mineralización (K₂), y se calcularon con la fórmula:

$$\text{Humus mineralizado (kg / ha)} = \text{kg suelo / ha} \times \frac{(\% \text{MO})}{100} \times K_2 \times (\text{duración cultivo en años})$$

Resultados y Discusión

Producción de los cultivos en los diferentes sistemas

Uno de los objetivos que deben cumplir los sistemas agrícolas es la obtención de rendimientos satisfactorios. En las Tablas de la 8 a la 11 se pueden observar los resultados de producción correspondientes a los cuatro sistemas estudiados, expresados en peso o en número de piezas por unidad de superficie, según la práctica habitual para cada cultivo. Para cuantificar e interpretar estos valores, se ha tomado como referencia el parámetro denominado Rendimiento Óptimo, valor establecido en función de los datos disponibles en cada área, y que representa el objetivo a alcanzar para que una producción se considere satisfactoria.

Tabla 8: Resultados de producción en el Sistema Integrado 1 (Pilar de la Horadada)

Cultivos	Producción (t/ha)				Producción (piezas/ha)			
	1998	1999	2000	Objetivo	1998	1999	2000	Objetivo
Apio	--	72,9	115	109	--	--	--	--
Brócoli	14,2	15,9	16,5	15	--	--	--	--
Cebolla	37,4	56,5	47,0	80	--	--	--	--
Lechuga Iceberg	--	--	--	--	--	43521	10000	50000
Lechuga Little gem 1	--	--	--	--	--	93858	30163	110000
Lechuga Little gem 2	--	--	--	--	72469	77402	87731	110000
Maíz dulce	--	--	--	--	49803	38348	37194	45000
Pimiento	39,4	61,8	81,0	70	--	--	--	--
Sandía	95,5	90,4	48,3	73	--	--	--	--
Veza-Avena	--	--	--	--	--	--	--	--

Como se muestra en los resultados, en la mayoría de los cultivos del sistema Integrado 1 no se alcanzó el rendimiento deseado. El principal problema presentado en este sistema fue la incidencia de plagas, fundamentalmente los áfidos en el cultivo de sandía del año 2000 y las orugas en las lechugas Little gem cultivadas en otoño, siendo las responsables de que las cosechas se vieran tan mermadas. Aparentemente, la cubierta vegetal empleada en la sandía no fue suficiente como método preventivo del ataque de áfidos y cuando se decidió aplicar el tratamiento ya era demasiado tarde. A su vez, el cultivo de pimiento presentó problemas de virosis en el primer año, pero este obstáculo se superó posteriormente con el empleo de variedades resistentes al virus TSWV. Además, las malas condiciones de mercado para las lechugas Little gem de primavera, junto a los

problemas que sufrió el cultivo de apio como consecuencia del granizo en el año 1999, provocaron que en este sistema no se cumplieran los objetivos marcados en ninguno de los tres años.

Tabla 9: Resultados de producción en el sistema Integrado 2 (Benicarló)

Cultivos	Producción (t/ha)				Producción (piezas/ha)			
	1998	1999	2000	Objetivo	1998	1999	2000	Objetivo
Abono verde	--	--	--	--	--	--	--	--
Alcachofa	--	16,1	3,30 ⁽²⁾	20/7 ⁽²⁾	--	--	--	--
Cebolla	--	32400 62,7 ⁽¹⁾	--	60	--	--	--	--
Coliflor	--	--	--	--	--	16187	15920	16000
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	--	0	0	35000
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	60000	46733	48000	35000
Judía verde	--	16,0	8,70	18	--	--	--	--
Sandía	53,8	53,7	67,3	65	--	--	--	--
Tomate	58,0	33,9	27,4	70	--	--	--	--
Veza-Avena	--	--	--	--	--	--	--	--

⁽¹⁾ se cosecharon 32.400 piezas como cebolla tierna y 62,7 t como cebolla seca

⁽²⁾ cultivo de semilla de alcachofa

Resultados similares se han obtenido en el sistema Integrado 2, pero en este caso la causa principal de la baja producción no fueron las plagas sino las enfermedades, pues este sistema se encuentra en una zona con frecuentes problemas de virosis. Por ello, a pesar de que se emplearon variedades de tomate resistentes al virus TSWV, no se pudo prevenir la aparición de otras enfermedades fúngicas, con lo que las producciones estuvieron muy por debajo del objetivo en los tres años. El 10% de las pérdidas se produjeron por abandono de la cosecha de la lechuga de invierno-primavera debido a los bajos precios de mercado y porque, a pesar de que se realizaron numerosos tratamientos fitosanitarios, éstos no fueron suficientes contra las enfermedades criptogámicas. También se obtuvieron bajos rendimientos en la alcachofa, causados por la incidencia de *Verticilium sp.* y *Rhizoctonia* y por problemas de fatiga del suelo, riesgo que podría superarse a medio-largo plazo mejorando el diseño de la rotación. Asimismo, las producciones de sandía y judía verde se vieron reducidas por las malas condiciones meteorológicas y un inadecuado marco de plantación (que supuso el 25% de las pérdidas totales). Sin embargo, en el cultivo de coliflor se consiguieron rendimientos satisfactorios.

En los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 sí se superaron los objetivos de producción en gran parte de los cultivos. Los problemas fitosanitarios fueron muy parecidos. Como sucedió en el sistema Integrado 1, las plagas fueron las principales causantes de las pérdidas de producción. En ambos sistemas se registraron ataques de áfidos en la lechuga de invierno-primavera y de dípteros en la cebolla. Además, se produjeron reducciones importantes en el rendimiento de la lechuga de verano por el virus TSWV, optándose por la eliminación de este cultivo en los periodos de mayor sensibilidad. Por el contrario, especies como la coliflor, la alcachofa o la sandía superaron los objetivos de producción en los dos sistemas.

Tabla 10: Resultados de producción en el sistema Integrado 3 (Paiporta)

Cultivos	Producción (t/ha)				Producción (piezas/ha)			
	1998	1999	2000	Objetivo	1998	1999	2000	Objetivo
Alcachofa	--	19,3	9,70	15	--	--	--	--
Cebolla	--	0	74,9	80	--	--	--	--
Coliflor	--	--	--	--	28971	24672	27279	18000
Hinojo	26,9	33,1	42,1	21	--	--	--	--
Judía verde	--	9,10	8,30	10	--	--	--	--
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	--	32434	--	42000
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	23581	0	--	42000
Lechuga Romana 3	--	--	--	--	29900	--	--	42000
Patata	--	56,9	49,8	42	--	--	--	--
Sandía	70,3	85,7	135	72	--	--	--	--
Veza-Cebada	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 11: Resultados de producción en el sistema Ecológico 1 (Paiporta)

Cultivos	Producción (t/ha)				Producción (piezas/ha)			
	1998	1999	2000	Objetivo	1998	1999	2000	Objetivo
Alcachofa	--	21,0	14,0	13	--	--	--	--
Cebolla	--	0	49,7	75	--	--	--	--
Coliflor	--	--	--	--	28473	28333	23250	16000
Hinojo	28,5	32,4	39,6	19	--	--	--	--
Judía verde	--	9,00	6,80	10	--	--	--	--
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	--	0	--	38000
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	20037	0	--	38000
Lechuga Romana 3	--	--	--	--	23557	--	--	38000
Patata	--	56,9	44,0	38	--	--	--	--
Sandía	68,3	65,9	96,9	70	--	--	--	--
Veza-Cebada	--	--	--	--	--	--	--	--

En la Tabla 12 está representada la media de los resultados de producción anual expresados como el cociente de la producción obtenida y la producción óptima, de forma que todos los cultivos deberían tener un rendimiento igual o superior al del parámetro establecido, es decir que el cociente debía ser mayor o igual a la unidad para considerarse que el resultado había sido satisfactorio. Hay que destacar que, a pesar de que en los sistemas Integrados 1 y 2 no se alcanzaron los niveles marcados como objetivo, se obtuvieron producciones muy similares a las de los sistemas convencionales. Por el contrario, en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 se ha logrado como media de los tres años una producción superior a la óptima. En el primer año no se alcanzó el nivel deseado en ninguno

Tabla 12: Media de las relaciones producción obtenida/producción óptima

Sistema	1998	1999	2000	Media	Objetivo
Convencional	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00
Integrado 1	0,83	0,83	0,75	0,80	1,00
Integrado 2	1,04	0,77	0,64	0,82	1,00
Integrado 3	0,92	1,05	1,32	1,09	1,00
Ecológico 1	0,94	0,92	1,38	1,08	1,00

Marta Ribó Herrero

de estos dos sistemas, aunque sus rendimientos fueron relativamente altos. Al año siguiente, en el sistema integrado se superó el objetivo, mientras que en el ecológico se obtuvo un leve descenso en la producción. Sin embargo, en el año 2000, se obtuvieron rendimientos por encima del valor óptimo en los dos sistemas.

En términos absolutos, la producción ecológica ha sido ligeramente inferior (12% por término medio en todos los cultivos y años) a la del sistema integrado de similares características. Estos niveles son bastante concordantes con los reflejados por Stanhill (1990) en un estudio de recapitulación bibliográfica con 26 cultivos diferentes, en el que la reducción media del rendimiento en producción ecológica fue del 9%. En otros ensayos de cultivos hortícolas con manejo ecológico (Pomares y Albiach, 2003), se encontraron descensos medios de rendimiento del 5 al 9%, así como reducciones de hasta el 4% en un sistema de fertilización orgánica, cuando se tomaba como referencia el rendimiento obtenido con la fertilización mineral (Gómez et al., 2002). Sin embargo, nuestros resultados difieren bastante de los encontrados por otros autores (Finck, 1998; Stockdale, 2001), que indican datos más negativos (reducciones de 30-50%) sobre el rendimiento de los productos ecológicos.

EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR LA COSECHA Y LOS RESTOS DE CULTIVO

Entre los objetivos de este trabajo se ha incluido el estudio de la cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas, por constituir un criterio orientativo de las exigencias nutritivas del cultivo y ser una información de gran utilidad para el diseño de programas de abonado racional, bien ajustados a las necesidades de los cultivos, condición indispensable para lograr un aprovechamiento eficiente de los fertilizantes y la minimización de sus efectos ambientales negativos. Además, cuantificar las pérdidas de nutrientes que se producen en el suelo como consecuencia de las extracciones realizadas por la cosecha y las cantidades de restos de cultivo que se retiran del sistema es fundamental a la hora de calcular los balances de nutrientes.

Para facilitar el manejo de los resultados se muestra la extracción de nutrientes en función de los diferentes cultivos y de los sistemas de producción. Además, se han calculado también las extracciones por unidad de producción (kg/t) (Véase Tabla C en anejos). En todos los casos se ha separado la parte que corresponde a la cosecha de la de los restos de cultivo, dado el diferente manejo que se le puede dar a estos últimos.

Extracción de nutrientes por los distintos cultivos

Como se puede observar en la Tabla 13, el elemento que se extrae en mayor cantidad es el potasio, seguido del nitrógeno, el fósforo y el magnesio, pero esta generalidad puede variar en algunos cultivos, como muestran los resultados obtenidos en las pellas del brócoli, donde las extracciones de nitrógeno y potasio por tonelada de producción se hicieron prácticamente idénticas. Estos resultados difieren de los encontrados por Magnífico (1979) y Lorenz y Maynard (1980), que registraron extracciones de nitrógeno bastante inferiores a las de potasio; sin embargo se aproximan bastante a los aportados por Shelp y Liu (1992), lo cual pone de manifiesto la elevada variabilidad de esta clase de datos. Por otra parte, en la parte comercial de algunos cultivos, como las mazorcas de maíz dulce, las extracciones de nitrógeno han superado a las de potasio.

Tabla 13. Cantidad de nutrientes extraída por los cultivos

Cultivos	Rendimiento (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Restos (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Total (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Alcachofa	16,1	52,3	26,2	102	9,70	34,3	92,4	41,3	174	19,6	50,4	145	67,5	275	29,3
	3,30	13,2	6,00	18,4	1,40	22,2	91,7	19,3	104	40,4	25,5	105	25,3	122	41,8
	19,3	54,8	24,6	101	9,00	104	303	70,1	570	106	123	358	94,7	671	115
	9,70	36,9	10,0	32,7	5,50	41,1	123	24,2	174	25,5	50,8	160	33,7	207	31,0
	21,0	60,0	24,2	94,0	9,60	69,4	136	25,6	333	33,5	90,4	196	49,8	427	43,1
	14,0	51,1	13,8	45,6	8,20	31,5	77,2	12,3	98,1	16,1	45,5	128	26,1	144	24,3
	72,9	81,7	63,5	229	19,3	42,6	82,7	61,4	169	28,1	116	164	125	398	47,4
	115	132	98,0	134	46,0	--	--	--	--	--	115	132	98,0	134	46,0
	14,2	54,0	20,6	55,8	4,40	125	353	133	590	90,3	140	407	153	645	94,7
	15,9	60,7	23,1	72,3	5,00	120	338	127	566	86,6	136	399	151	638	91,6
Cebolla	16,5	68,6	27,5	61,4	5,00	126	427	144	689	93,2	142	496	171	750	98,2
	37,4	51,2	32,0	67,8	9,00	9,30	17,5	31,0	44,6	7,70	46,7	68,7	35,1	112	16,7
	56,5	77,0	32,0	77,0	13,6	44,6	70,7	24,5	175	30,7	101	148	56,5	252	44,3
	47,0	74,7	40,4	88,8	13,8	46,4	53,2	56,2	159	41,5	93,4	128	96,6	248	55,3
	74,9	89,6	42,2	126	10,9	16,2	43,0	14,6	81,4	13,7	91,1	133	56,8	207	24,6
	62,7	79,0	34,6	129	28,5	60,6	77,3	63,0	161	43,0	123	156	97,6	290	71,5
	--	--	--	--	--	4,00	10,2	2,80	10,5	1,40	4,00	10,2	2,80	10,5	1,40
	49,7	58,6	29,1	75,2	8,30	6,70	11,0	2,40	22,4	3,10	56,4	69,6	31,5	97,6	11,4
	21,7	58,6	12,2	157	4,56	79,5	204	69,6	209	17,8	101	263	81,8	366	22,4
	22,6	70,0	69,0	89,9	5,30	80,0	164	56,0	281	13,6	103	234	125	371	18,9
Hinojo	35,2	61,8	31,9	134	17,6	50,4	154	35,3	246	26,3	85,6	216	67,2	382	43,9
	30,1	75,0	24,9	118	6,40	68,5	179	42,5	140	33,6	98,6	254	67,4	258	40,0
	32,1	67,2	25,7	126	6,40	40,7	163	36,6	179	48,8	72,8	230	62,3	305	55,2
	39,2	93,5	36,1	156	9,00	39,6	131	32,1	181	23,2	78,8	224	68,2	337	32,2
	35,7	76,4	26,0	153	6,90	53,9	152	32,3	135	28,6	89,6	228	58,3	288	35,5
	32,0	67,2	22,4	92,8	3,20	46,6	186	46,6	191	55,9	78,6	254	69,0	284	59,1
	26,9	45,0	15,0	100	7,40	11,7	32,8	6,30	67,3	7,10	38,6	77,8	21,3	167	14,5
	33,1	54,7	18,2	142	9,00	5,20	14,4	2,80	29,6	3,10	38,3	69,1	21,0	172	12,1
	42,3	54,7	33,3	94,3	8,20	25,6	60,4	15,3	97,2	16,6	67,9	115	48,6	192	24,8
	28,5	47,0	16,3	93,1	8,80	13,8	45,8	9,10	85,5	9,40	42,3	92,8	25,4	179	18,2
Judía	32,4	56,9	19,7	130	11,6	51,0	16,9	3,40	31,6	3,50	37,5	73,8	23,1	162	15,1
	39,6	66,9	26,5	101	11,8	28,5	73,7	18,8	116	17,4	68,1	141	45,3	217	29,2
	16,0	44,1	17,8	65,5	7,10	38,6	17,9	64,3	123	43,8	54,6	223	82,1	188	50,9
	8,70	23,3	11,9	54,1	3,60	41,8	17,3	58,5	122	40,1	50,5	196	70,4	176	43,7
	9,10	45,9	13,9	45,9	7,80	18,8	87,2	22,6	89,3	18,6	27,9	133	36,5	135	26,4
	8,30	20,8	6,50	22,4	3,50	19,3	61,0	16,0	85,3	14,3	27,6	81,8	22,5	108	17,8
	9,00	36,8	10,3	38,9	6,20	24,7	89,8	20,7	94,8	15,1	33,7	127	31,0	134	21,3
	6,80	19,2	4,90	26,3	2,20	17,9	58,9	15,0	75,3	12,3	24,7	78,1	19,9	102	14,5
	1,75	18,4	12,0	85,0	4,00	12,9	26,1	17,2	68,8	12,1	30,4	44,5	29,2	154	16,1
	--	--	--	--	--	56,3	76,5	24,2	254	15,2	56,3	76,5	24,2	254	15,2
Lech. Little	32,1	35,2	20,0	96,0	9,60	0,30	0,40	0,20	1,00	0,10	25,1	39,9	20,2	97,0	8,90
	25,1	39,9	18,4	120	8,90	--	--	--	--	--	25,1	39,9	18,4	120	8,90
	35,4	36,4	16,2	116	10,3	2,20	10,3	1,80	13,7	3,30	37,6	46,7	18,0	130	13,3
	16,8	17,2	6,70	39,8	2,30	--	--	--	--	--	16,8	17,2	6,70	39,8	2,30
32,9	35,9	17,1	69,0	8,80	--	--	--	--	--	32,9	35,9	17,1	69,0	8,80	

Tabla 13. Cantidad de nutrientes extraída por los cultivos (continuación)

Cultivos	Rendimiento (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Restos (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)				Total (t/ha m.f.)	Elementos extraídos (kg/ha)							
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO				
Lech. Rom	61,5	74,9	38,4	248	25,5	--	--	--	--	60,9	--	--	61,5	74,9	38,4	248	25,5		
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	65,9	38,9	180	17,3	65,9	38,9	180	17,3	
	34,5	75,7	13,8	102	6,20	--	--	--	--	--	115	36,1	150	18,1	122	67,9	273	28,3	
	46,7	75,7	31,8	122	10,2	43,4	20,5	148	11,2	20,6	56,0	10,1	81,2	6,60	71,7	11,0	92,2	8,40	
	42,1	66,6	11,0	92,2	8,40	20,6	37,1	10,1	81,2	14,6	26,3	11,9	47,5	4,20	48,3	34,5	245	29,7	
	28,3	36,4	14,0	97,0	18,5	14,6	57,0	31,5	134	13,4	14,6	26,3	11,9	47,5	94,1	41,6	215	14,2	
	27,7	57,0	31,5	134	7,60	55,5	82,0	25,2	171	13,4	55,5	35,4	211	16,8	108	37,1	219	17,6	
	30,9	82,0	25,2	171	13,4	55,5	--	--	--	--	94,9	35,4	211	16,8	55,5	94,9	35,4	211	16,8
	25,4	32,5	12,0	89,0	6,70	53,4	32,5	12,0	89,0	6,70	24,8	25,3	183	14,1	78,8	100	37,3	272	20,8
	23,5	48,4	12,7	116	9,40	24,8	48,4	12,7	116	9,40	20,1	13,4	122	9,80	48,3	99,3	26,1	238	19,2
Maíz dulce	--	--	--	--	--	20,1	23,8	12,6	45,2	20,1	23,8	12,6	45,2	20,1	23,8	12,6	45,2	4,10	
	19,0	76,6	34,0	61,5	10,0	32,9	60,3	19,6	154	12,1	32,9	19,6	154	12,1	32,9	60,3	19,6	154	12,1
	19,3	65,2	25,8	50,3	7,50	57,6	143,6	59,5	315	55,8	143,6	59,5	315	55,8	143,6	59,5	315	55,8	143,6
	4,40	14,6	5,60	10,5	1,70	36,0	105	48,3	138	18,7	40,4	120	53,9	149	20,4	120	53,9	149	20,4
	56,9	141	55,1	353	21,1	26,4	66,0	10,4	133	37,1	66,0	10,4	133	37,1	83,3	207	65,5	486	58,2
	49,8	148	34,4	203	18,6	--	--	--	--	--	62,9	9,30	105	30,5	49,8	148	34,4	203	18,6
	56,9	154	51,8	357	24,6	25,7	62,9	9,30	105	30,5	25,7	62,9	9,30	105	82,6	217	61,1	462	55,1
	44,0	135	30,1	164	18,4	--	--	--	--	--	44,0	--	--	--	44,0	135	30,1	164	18,4
	39,4	70,3	29,0	109	15,6	50,3	211	75,0	294	94,3	50,3	211	75,0	294	89,7	281	104	403	110
	61,8	106	40,3	103	12,0	27,7	94,4	26,4	153	48,6	27,7	94,4	26,4	153	89,5	200	66,7	257	60,6
Sandía	81,0	144	47,8	96,3	17,0	68,9	259	75,8	268	150	259	75,8	268	150	403	124	365	167	
	95,5	150	71,0	298	27,6	7,80	35,1	19,8	49,5	5,90	35,1	19,8	49,5	103	186	90,8	348	33,5	
	90,4	126	59,4	322	22,3	38,9	63,0	25,1	90,7	37,2	63,0	25,1	90,7	129	189	84,5	373	59,5	
	48,3	56,8	39,6	62,2	12,4	41,3	64,8	50,8	165	21,5	41,3	64,8	50,8	165	89,6	122	90,4	227	33,9
	53,8	74,9	32,7	196	10,2	12,2	40,3	15,9	47,6	10,7	40,3	15,9	47,6	66,0	115	48,6	243	20,9	
	53,7	78,2	32,1	231	12,4	22,2	40,2	9,80	40,5	8,40	22,2	40,2	9,80	75,9	118	41,9	271	20,8	
	67,3	129	58,2	127	12,6	13,4	42,9	15,0	59,4	6,60	13,4	42,9	15,0	80,7	172	73,2	186	19,2	
	70,3	99,8	30,3	201	16,8	32,1	74,3	20,8	86,0	31,3	32,1	74,3	20,8	102	174	51,1	287	48,1	
	85,7	130	33,7	212	25,3	38,8	67,6	19,9	60,6	22,8	38,8	67,6	19,9	125	197	53,6	273	48,1	
	135	221	55,6	197	38,8	38,8	80,0	22,5	76,5	32,2	80,0	22,5	76,5	174	301	78,1	273	71,0	
Tomate	68,3	107	33,9	219	18,0	21,8	63,7	13,8	79,7	37,0	63,7	13,8	79,7	90,1	170	47,7	299	55,0	
	65,9	92,9	25,6	118	16,8	53,0	117	32,7	264	40,5	117	32,7	264	119	210	58,3	382	57,3	
	13,1	23,7	11,0	49,9	17,9	52,7	127	25,3	132	40,5	52,7	25,3	132	65,8	151	36,3	182	58,4	
	58,0	106	42,9	162	9,30	25,7	82,7	47,6	27,8	27,8	82,7	47,6	27,8	83,7	189	90,5	288	37,1	
	33,9	48,6	17,1	99,6	5,10	25,9	82,9	36,1	89,5	23,2	82,9	36,1	89,5	59,8	132	53,2	189	28,3	
	27,4	44,3	21,2	82,6	15,2	12,1	36,3	14,9	49,1	10,4	12,1	36,3	14,9	39,5	80,6	36,1	132	25,6	

Cuando los cultivos estudiados se clasifican en función de las cantidades totales de nitrógeno extraídas se pueden diferenciar los siguientes grupos:

- *Cultivos con extracciones máximas superiores a 300 kg N/ha*

Alcachofa, brócoli y pimiento

- *Cultivos con extracciones máximas entre 200 y 300 kg N/ha*

Maíz dulce, judía verde, patata y sandía.

- *Cultivos con extracciones máximas entre 100 y 200 kg N/ha*

Apio, cebolla, coliflor, tomate, hinojo y lechuga Romana.

- *Cultivos con extracciones máximas inferiores a 100 kg N/ha*

Lechuga Little gem y lechuga Iceberg.

Es importante señalar que existen algunas especies como la alcachofa, brócoli, coliflor, judía verde, maíz dulce y pimiento, en las que los nutrientes extraídos por la cosecha suelen alcanzar un valor inferior al 50% de los nutrientes totales absorbidos. Estas cifras ponen de manifiesto lo importante que resultaría en estos casos la incorporación de los restos de cultivo tras finalizar la recolección, como alternativa a la quema o a la retirada de la parcela, ya que supone un importante ahorro en el aporte de fertilizantes. Si tomamos como ejemplo el caso del brócoli, que es el cultivo más extractante de todos, generador de una gran cantidad de residuos, hay que señalar que en base a las extracciones totales de la parte aérea de las plantas de brócoli serían necesarias unas aportaciones de 399-496 kg N/ha, 151-171 kg P₂O₅/ha, 638-750 kg K₂O/ha y 92-98 kg MgO/ha para reponer los nutrientes extraídos. Sin embargo, la restitución de nutrientes cuando se incorporan los restos disminuiría a 54-69 kg N/ha, 21-28 kg P₂O₅/ha, 56-72 kg K₂O/ha y 4-5 kg MgO/ha. Reducciones menos significativas, pero también importantes se pueden dar con la incorporación de los restos de la cosecha en el cultivo de la coliflor, con ahorros de hasta 200 kg N/ha, 70 kg P₂O₅/ha y de 280 kg K₂O/ha de abonado nitrogenado, fosfórico y potásico respectivamente. Como puede observarse, la incorporación de los restos de cultivo es un paso lógico en el reciclaje de los nutrientes y es de gran utilidad para remediar la reducción inevitable de la materia orgánica del suelo debido a la retirada de la cosecha. Por otro lado, el planteamiento de esta técnica de cultivo puede ser de menor interés en especies vegetales que no dejan tal cantidad de restos en la parcela, como pueden ser la patata, cebolla, lechuga o el hinojo.

Cuando se comparan los resultados de las extracciones obtenidas en el presente trabajo con las que se dan en la bibliografía (Véase Tabla 1) hay que destacar algunas diferencias, teniendo siempre presente la gran variabilidad que está asociada a estas determinaciones, puesto que hay multitud de factores que influyen en la absorción de nutrientes (suelo, sistema de riego, variedad, ciclo y condiciones del cultivo, rendimiento, etc.). En el caso de las plantas de alcachofa, los registros dados por Anstett (1965) o por Pomares y Tarazona (1995) son bastante superiores a los obtenidos

en este trabajo, fundamentalmente para el potasio. Lo mismo sucede con los bulbos de cebolla, los tubérculos de patata y los frutos de pimiento, ya que en los análisis se han encontrado unos valores inferiores a los de los trabajos de Prats (1970) y Jacob y Von Uesküll (1973), Knott (1962), Millar (1979) y Maroto (1995), respectivamente. Es también destacable que en la extracción de magnesio de los frutos de la sandía se hayan obtenido unos valores inferiores en todos los casos a los encontrados por Quesada (1990) y Barona (1994), al igual que ocurre con la extracción de potasio en los frutos de tomate (Anstett, 1965; Cornillon, 1974). Por el contrario, cuando se comparan los trabajos de Anstett (1965) y Knott (1962) con lo obtenido en las extracciones de magnesio de especies como la judía verde, se observan valores superiores. Sin embargo, en el caso del hinojo los resultados obtenidos son bastante coincidentes con las cifras dadas por Fersini (1976).

Extracción de nutrientes en las rotaciones de cultivos

Si se analizan los resultados en función de los sistemas de producción (Tablas de la 14 a la 17), hay que señalar que el sistema Integrado 1 es el que presenta mayor cantidad de nutrientes extraídos en los tres años de duración del estudio, a pesar de ser un sistema que introduce dentro de la rotación tres especies de las que se consideran menos exigentes en el aspecto nutricional (cebolla y 2 variedades de lechuga). Una de las razones que podría explicar que éste sea el sistema más extractante de los cuatro es que es el único donde se cultiva brócoli que, como ya hemos indicado anteriormente, es de las especies vegetales que extraen una mayor cantidad de nutrientes. Otro aspecto que se puede destacar es que en el año 1999 se extrajo menor cantidad de nutrientes en forma de restos de cultivo que en el año 2000, y sin embargo se extrajeron más nutrientes en forma de cosecha.

El sistema Integrado 2 es el que presentó menores extracciones en el primer año, ya que sólo se implantaron tres de los cultivos de la rotación. En los años siguientes, la extracción de N, P₂O₅ y MgO por la cosecha fue similar, pero se observó una mayor extracción de K₂O en el año 1999. Fue también superior la extracción de nutrientes, incluido el potasio, de los restos de cultivo en ese mismo año.

No se observan marcadas diferencias en la cantidad de nutrientes extraídas en el sistema Integrado 3 frente al Ecológico 1, aunque parece que en los dos últimos años se presentaron mayores extracciones en el primero, mientras que en el primer año sucedió lo contrario.

Es interesante el conocimiento aproximado de la extracción de nutrientes por parte de las distintas especies vegetales dentro de una rotación, por ser de gran utilidad para el establecimiento de una adecuada sucesión de cultivos pues se deben alternar plantas con diferentes necesidades nutritivas. El estudio de Watson (1997) es un claro ejemplo de ello, ya que demostró la influencia del diseño de las rotaciones de cultivos en la eficiencia con la que los aportes de nitrógeno son extraídos por las plantas, pudiéndose encontrar mejoras en la eficiencia de un 35% a un 63% según se varíe la secuencia de cultivos y se introduzcan diferentes leguminosas. Resultados similares fueron encontrados por Thorup-Kristensen (2002), ya que dependiendo de cómo se planteasen

las rotaciones, se quedaban fuera de la disponibilidad de las plantas 43 kg/ha de nitrógeno mineral frente a 14 kg N/ha, en la mejor secuencia de cultivos de la rotación. Este mal diseño en la rotación, con la consiguiente pérdida de nutrientes para el sistema, se fundamentó en la introducción de un cultivo de raíces poco profundas como el puerro detrás de una leguminosa como los guisantes, con lo que todo el nitrógeno atmosférico que eran capaces de captar no quedó a disposición del cultivo siguiente por no encontrarse dentro de la rizosfera.

Tabla 14. Extracciones de N, P₂O₅, K₂O y MgO de los cultivos del sistema Integrado 1

Cultivo	Cosecha (kg/ha)				Restos de cultivo (kg/ha)				Total (kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
1998												
Sandía	150	71,0	298	27,6	35,1	19,8	49,5	5,90	185	90,8	346	33,5
Pimiento	70,3	29,0	109	15,6	211	75,0	294	94,3	281	104	403	110
Cebolla	51,2	32,0	67,8	9,00	17,5	3,10	44,6	7,70	68,7	35,1	112	16,7
Maíz dulce	76,6	34,0	61,5	10,0	102	60,1	229	24,7	179	94,1	291	34,7
Lech. Litt. g	35,2	20,0	96,0	9,60	0,40	0,20	1,00	0,10	35,6	20,2	97,0	9,70
Brócoli	54,0	20,6	55,8	4,40	353	133	590	90,3	407	154	646	94,7
Total	437	207	802	76,2	719	291	1221	245	1156	498	2023	321
1999												
Lech.Lit. g.1	39,9	18,4	120	8,90	--	--	--	--	39,9	18,4	120	8,90
Iceberg	18,4	12,0	85,0	4,00	26,1	17,2	68,8	12,1	44,5	29,2	154	16,1
Veza-avena	--	--	--	--	90,6	26,0	139	9,4	90,6	26,0	139	9,4
Cebolla	77,0	32,0	77,0	13,6	70,7	24,5	175	30,7	148	56,5	252	44,3
Apio	81,7	63,5	229	19,3	82,7	61,4	169	28,1	164	125	398	47,4
Pimiento	106	40,3	103	12,0	94,4	26,4	153	48,6	200	66,7	257	60,6
Maíz dulce	65,2	25,8	50,3	7,50	144	59,5	315	55,8	209	85,2	365	63,3
Sandía	126	59,4	322	22,3	63,0	25,1	90,7	37,2	189	84,5	413	59,5
Brócoli	60,7	23,1	72,3	5,00	338	127	566	86,6	399	151	638	91,6
Lech.Lit. g.2	36,4	16,2	116	8,80	10,3	1,80	13,7	3,30	46,7	18,0	130	12,1
Total	611	290	1175	101	920	369	1690	312	1531	660	2866	413
2000												
Lech.Lit. g.1	17,2	6,7	39,8	2,3	--	--	--	--	17,2	6,7	39,8	2,3
Iceberg	--	--	--	--	76,5	24,2	254	15,2	76,5	24,2	254	15,2
Veza-avena	--	--	--	--	166	75,2	358	25,9	166	75,2	358	25,9
Cebolla	74,7	40,4	88,8	13,8	53,2	56,2	159	41,5	128	96,6	248	55,3
Apio	132	98,0	134	46,0	--	--	--	--	132	98,0	134	46,0
Pimiento	144	47,8	96,3	17,0	259	75,8	268	150	403	124	365	167
Maíz dulce	14,6	5,60	10,5	1,70	105	48,3	138	18,7	120	53,9	149	20,4
Sandía	56,8	39,6	62,2	12,4	64,8	50,8	165	21,5	122	90,4	227	33,9
Brócoli	68,6	27,5	61,4	5,00	427	144	689	93,2	496	171	750	98,2
Lech.Lit. g.2	35,9	17,1	69,0	8,80	--	--	--	--	35,9	17,1	69,0	8,80
Total	544	283	562	107	1152	475	2032	366	1697	757	2594	473

Tabla 15. Extracciones de N, P₂O₅, K₂O y MgO de los cultivos del sistema Integrado 2

Cultivo	Cosecha (kg/ha)				Restos de cultivo (kg/ha)				Total (kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
1998												
Sandía	74,9	32,7	196	10,2	40,3	15,9	47,6	10,7	115	48,6	243	20,9
Tomate	106	42,9	162	9,30	82,7	47,6	126	27,8	189	90,5	288	37,1
Romana	74,9	38,4	248	25,5	--	--	--	--	74,9	38,4	248	25,5
Total	256	114	606	45	123	63,5	173	38,5	379	178	779	83,5
1999												
Coliflor	58,6	12,2	157	4,56	204	69,6	209	17,8	263	81,8	366	22,4
Alcachofa	52,3	26,2	102	9,70	92,4	41,3	174	19,6	145	67,5	275	29,3
Cebolla	89,6	42,2	126	10,9	43,0	14,6	81,4	13,7	133	56,8	207	24,6
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	65,9	38,9	180	17,3	65,9	38,9	180	17,3
Lechuga Romana 2	75,7	13,8	102	6,20	--	--	--	--	75,7	13,8	102	6,20
Judía verde	44,1	17,8	65,5	7,10	179	64,3	123	43,8	223	82,1	188	50,9
Sandía	78,2	32,1	231	12,4	40,2	9,80	40,5	8,40	118	41,9	271	20,8
Tomate	48,6	17,1	99,6	5,10	82,9	36,1	89,5	23,2	132	53,2	189	28,3
Maíz (Abono Verde)	--	--	--	--	230	105	488	24,7	230	105	488	24,7
Total	447	161	883	56,0	938	379	1385	169	1386	541	2266	224
2000												
Coliflor	70,0	69,0	89,9	5,30	164	56,0	281	13,6	234	125	371	18,9
Alcachofa	13,2	6,00	18,4	1,40	91,7	19,3	104	40,4	105	25,3	122	41,8
Lechuga Romana 1	75,7	31,8	122	10,2	115	36,1	150	18,1	191	67,9	273	28,3
Lechuga Romana 2	66,6	11,0	92,2	8,40	--	--	--	--	66,6	11,0	92,2	8,40
Judía verde	23,3	11,9	54,1	3,60	172,6	58,5	121,6	40,1	196	70,4	176	43,7
Sandía	129	58,2	127	17,6	42,9	15,0	59,4	6,60	172	73,2	186	24,2
Tomate	44,3	21,2	82,6	15,2	36,3	14,9	49,1	10,4	80,6	36,1	132	25,6
Maíz (Abono verde)	--	--	--	--	154	57,9	212	17,7	154	57,9	212	17,7
Total	422	209	586	61,7	776	258	977	147	1199	467	1564	209

Tabla 16. Extracciones de N, P₂O₅, K₂O y MgO de los cultivos del sistema Integrado 3

Cultivo	Cosecha (kg/ha)				Restos de cultivo (kg/ha)				Total (kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
1998												
Sandía	99,8	30,3	201	16,8	74,3	20,8	86,0	31,3	174	51,1	287	48,1
Lechuga Romana 1	36,4	14,0	97,0	18,5	56,0	20,5	148	11,2	92,4	34,5	245	29,7
Lechuga Romana 2	57,0	31,5	134	7,60	37,1	10,1	81,2	6,60	94,1	41,6	215	14,2
Hinojo	45,0	15,0	100	7,40	32,8	6,30	67,3	7,10	77,8	21,3	167	14,5
Total	238	90,8	532	50,3	200	57,7	383	56,2	438	149	915	107
1999												
Coliflor	61,8	31,9	136	17,6	154	35,3	246	26,3	216	67,1	382	43,9
Cebolla	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Alcachofa	54,8	24,6	101	9,00	303	70,1	570	106	358	94,7	671	115
Patata	141	55,1	353	21,1	66,0	10,4	133	37,1	207	65,5	486	58,2
Avena (Abono Verde)	--	--	--	--	44,6	11,0	62,7	8,90	44,6	11,0	62,7	8,90
Lechuga Romana 1	82,0	25,2	171	13,4	26,3	11,9	47,5	4,20	108	37,1	219	17,6
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	94,9	35,4	211	16,8	94,9	35,4	211	16,8
Sandía	130	33,7	212	25,3	67,6	19,9	60,6	22,8	197	53,6	273	48,1
Hinojo	54,7	18,2	142	9,00	14,4	2,80	29,6	3,10	69,1	21,0	172	12,1
Judía verde	45,9	13,9	45,9	7,80	87,2	22,6	89,3	18,6	133	36,5	135	26,4
Total	570	203	1162	103	858	219	1451	244	1428	422	2612	347
2000												
Coliflor	75,0	24,9	118	6,40	179	41,1	144	34,2	254	67,4	258	40,0
Cebolla	79,0	34,6	129	28,5	77,3	63,0	161	43,0	156	97,6	290	71,5
Alcachofa	36,9	10,0	32,7	5,50	123	24,2	174	25,5	160	34,2	207	31,0
Patata	148	34,4	203	18,6	--	--	--	--	148	34,4	203	18,6
Avena (Abono Verde)	--	--	--	--	154	35,2	190	18,0	154	35,2	190	18,0
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sandía	221	55,6	197	38,8	80,0	22,5	76,5	32,2	301	78,1	273	71,0
Hinojo	54,7	33,3	94,3	8,20	60,4	15,3	97,2	16,6	115	48,6	192	24,8
Coliflor	37,2	25,7	119	6,40	163	36,6	179	48,8	253,6	72,3	310	43,7
Judía verde	20,8	6,5	22,4	3,50	61,0	16,0	85,3	14,3	81,8	22,5	108	17,8
Total	673	225	915	116	898	254	1107	233	1624	456	2031	336

Tabla 17: Extracciones de N, P₂O₅, K₂O y MgO de los cultivos del sistema Ecológico 1

Cultivo	Cosecha (kg/ha)				Restos de cultivo (kg/ha)				Total (kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
1998												
Sandía	107	33,9	219	18,0	63,7	13,8	79,7	37,0	170	47,7	299	55,0
Lechuga Romana 1	32,5	12,0	89,0	6,70	67,8	25,3	183	14,1	100	37,3	272	20,8
Lechuga Romana 2	48,4	12,7	116	9,40	50,9	13,4	122	9,80	99,3	26,1	238	19,2
Hinojo	47,0	16,3	93,1	8,80	45,8	9,10	85,5	9,40	92,8	25,4	179	18,2
Total	235	74,5	517	42,9	228	61,6	471	70,3	462	137	988	113
1999												
Coliflor	93,5	36,1	156	9,00	131	32,1	181	23,2	224	68,2	337	32,2
Cebolla	--	--	--	--	10,2	2,80	10,5	1,40	10,2	2,80	10,5	1,40
Alcachofa	60,0	24,2	94,0	9,60	136	25,6	333	33,5	196	49,8	427	43,1
Patata	154	51,8	357	24,6	62,9	9,30	105	30,5	217	61,1	462	55,1
Avena	--	--	--	--	38,3	8,90	71,2	15,5	38,3	8,90	71,2	15,5
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	23,8	12,6	45,2	4,10	23,8	12,6	45,2	4,10
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	60,3	19,6	154	12,1	60,3	19,6	154	12,1
Sandía	92,9	25,6	118	16,8	117	32,7	264	40,5	210	58,3	382	57,3
Hinojo	56,9	19,7	130	11,6	16,9	3,40	31,6	3,50	73,8	23,1	162	15,1
Judía verde	36,8	10,3	38,9	6,20	89,8	20,7	94,8	15,1	127	31,0	134	21,3
Total	494	168	894	77,8	686	168	1290	179	1180	335	2185	257
2000												
Coliflor	76,4	26,0	153	6,90	152	32,3	135	28,6	228	58,3	288	35,5
Cebolla	58,6	29,1	75,2	8,30	11,0	2,40	22,4	3,10	69,6	31,5	97,6	11,4
Alcachofa	51,1	13,8	45,6	8,20	77,2	12,3	98,1	16,1	128	26,1	144	24,3
Patata	135	30,1	164	18,4	--	--	--	--	135	30,1	164	18,4
Avena	--	--	--	--	204	52,1	249	23,7	204	52,1	249	23,7
Lechuga Romana 1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Lechuga Romana 2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sandía	23,7	11,0	49,2	17,9	127	25,3	132	40,5	151	36,3	181	58,4
Hinojo	66,9	26,5	101	11,8	73,7	18,8	116	17,4	141	45,3	217	29,2
Coliflor	67,2	22,4	92,8	3,20	186	46,6	191	55,9	253	69,0	284	59,1
Judía verde	19,2	4,90	26,3	2,20	58,9	15,0	75,3	12,3	78,1	19,9	102	14,5
Total	498	164	707	76,9	890	205	1019	198	1388	369	1726	275

Contenido de materia seca y nutrientes en los diferentes cultivos

En las Tablas 18 y 19 se detallan los valores mínimos, máximos y medios del contenido de materia seca y macronutrientes de la parte comercial y restos de los diferentes cultivos empleados en las rotaciones de nuestro trabajo. Con estos datos se pueden estimar, para cualquier caso particular, las extracciones de nutrientes previstas por estos cultivos en función de las cantidades de material vegetal generado.

Tabla 18. Contenido de materia seca y macronutrientes en la parte comercial de los cultivos (rango y valor medio)

Cultivos	Materia seca % s.m.f.	N % s.m.s.	P % s.m.s.	K % s.m.s.	Mg % s.m.s.
Alcachofa	[11,4 - 15,8] 13,4	[2,06 - 3,03] 2,63	[0,24 - 0,51] 0,39	[2,08 - 3,62] 2,84	[0,16 - 0,27] 0,24
Apio	[4,29 - 4,69] 4,49	[2,39 - 2,67] 2,53	[0,81 - 0,98] 0,89	[2,24 - 5,56] 3,90	[0,34 - 0,66] 0,60
Brócoli	[8,40 - 8,50] 8,45	[4,45 - 4,96] 4,70	[0,74 - 0,87] 0,78	[3,69 - 3,81] 3,75	[0,21 - 0,22] 0,22
Cebolla	[8,07 - 8,51] 8,31	[1,41 - 2,07] 1,70	[0,20 - 0,49] 0,36	[1,50 - 2,04] 1,77	[0,10 - 0,23] 0,16
Coliflor	[5,44 - 7,11] 6,15	[3,45 - 4,23] 3,80	[0,51 - 0,76] 0,61	[2,17 - 5,49] 3,97	[0,20 - 0,27] 0,22
Hinojo	[4,22 - 6,03] 5,48	[2,82 - 3,06] 2,93	[0,41 - 0,81] 0,54	[3,62 - 5,26] 4,51	[0,28 - 0,49] 0,35
Judía verde	[6,48 - 13,1] 9,85	[3,13 - 4,12] 3,70	[0,49 - 0,56] 0,52	[1,85 - 3,34] 2,94	[0,30 - 0,42] 0,35
Lechuga Iceberg	[3,14 - 3,89] 3,52	[3,33 - 3,48] 3,41	[0,48 - 0,58] 0,53	[7,28 - 9,59] 8,43	0,40
Lechuga Little gem	[2,75 - 3,87] 3,30	[3,28 - 4,10] 3,70	[0,63 - 0,83] 0,76	[6,38 - 7,43] 6,97	[0,50 - 0,70] 0,60
Lechuga Romana	[3,47 - 5,80] 4,45	[3,26 - 4,07] 3,56	[0,41 - 0,89] 0,60	[4,36 - 8,31] 6,43	[0,27 - 0,40] 0,35
Maíz dulce	[16,2 - 22,0] 19,35	[1,70 - 2,05] 1,86	[0,29 - 0,38] 0,34	[0,94 - 1,77] 1,31	[0,10 - 0,13] 0,11
Patata	[1,89 - 4,57] 3,23	[1,43 - 1,59] 1,51	[0,16 - 0,21] 0,19	[2,05 - 2,38] 2,22	[0,12 - 0,13] 0,13
Pimiento	[5,06 - 6,05] 5,57	[2,95 - 6,51] 3,18	[0,49 - 0,51] 0,50	[1,95 - 3,81] 2,64	[0,21 - 0,25] 0,23
Sandía	[4,41 - 8,30] 6,12	[1,89 - 4,05] 2,66	[0,25 - 0,68] 0,41	[1,99 - 6,60] 3,43	[0,20 - 0,38] 0,27
Tomate	[4,49 - 6,46] 5,54	[2,84 - 3,19] 3,07	[0,49 - 0,50] 0,49	[3,59 - 4,70] 4,33	[0,15 - 0,20] 0,18

Tabla 19. Contenido de macronutrientes y materia seca de los restos de los diferentes cultivos (rango y valor medio)

Cultivos	Materia seca % s.m.f.	N % s.m.s.	P % s.m.s.	K % s.m.s.	Mg % s.m.s.
Alcachofa	[12,2 - 15,3] 14,2	[1,30 - 2,05] 1,78	[0,14 - 0,34] 0,21	[2,11 - 3,18] 2,66	[0,20 - 0,25] 0,23
Apio	6,61	2,93	0,95	4,97	0,34
Brócoli	[8,58 - 8,66] 8,62	[3,25 - 3,94] 3,60	[0,53 - 0,58] 0,56	[4,50 - 5,26] 4,88	[0,50 - 0,51] 0,50
Cebolla	[8,70 - 13,3] 10,4	[1,82 - 2,49] 2,12	[0,16 - 0,40] 0,28	[2,12 - 4,33] 3,87	[0,40 - 0,60] 0,49
Coliflor	[6,68 - 10,8] 9,1	[3,06 - 3,96] 3,39	[0,30 - 0,48] 0,39	[2,39 - 4,52] 3,48	[0,15 - 0,39] 0,32
Hinojo	[7,13 - 9,31] 8,09	[3,32 - 3,57] 3,42	[0,29 - 0,37] 0,34	[4,36 - 5,86] 5,05	[0,44 - 0,55] 0,48
Judía	[12,3 - 18,6] 14,8	[2,49 - 2,99] 2,78	[0,29 - 0,44] 0,34	[1,73 - 3,04] 2,54	[0,30 - 0,41] 0,37
Lechuga Iceberg	8,31	2,43	0,70	5,32	0,54
Lechuga Little gem	9,54	4,87	0,36	5,34	0,93
Lechuga Romana	[2,96 - 5,44] 4,03	[3,18 - 4,04] 3,66	[0,55 - 0,92] 0,68	[4,36 - 7,20] 6,38	[0,37 - 0,50] 0,42
Maíz dulce	[13,1 - 16,8] 15,4	[1,44 - 1,90] 1,71	[0,34 - 0,37] 0,36	[1,94 - 3,45] 2,68	[0,20 - 0,21] 0,20
Patata	7,52	3,25	0,21	4,49	[0,95 - 1,13] 2,08
Pimiento	[12,3 - 15,4] 13,7	[2,46 - 3,16] 2,80	[0,31 - 0,49] 0,38	[2,10 - 4,88] 3,56	[0,90 - 0,92] 0,90
Sandía	[7,39 - 14,5] 9,77	[1,45 - 2,90] 2,39	[0,19 - 0,50] 0,34	[1,72 - 4,19] 2,60	[0,30 - 0,80] 0,52
Tomate	[13,1 - 13,5] 13,3	[2,29 - 2,43] 2,37	[0,41 - 0,60] 0,49	[2,17 - 2,99] 2,57	[0,40 - 0,50] 0,43

Balances simplificados de macronutrientes

Una vez examinadas las producciones de las cosechas, la cantidad de restos de cultivo que se ha generado en cada una de ellas y los nutrientes extraídos por las plantas, se está en condiciones de calcular los balances de macronutrientes que se han producido en cada sistema. Un estudio de éste tipo es de gran importancia para conocer la evolución de los nutrientes en el continuo suelo-aire-planta, a pesar de que en el presente trabajo se van a estimar balances simplificados en los que no se tienen en cuenta aportes como la deposición atmosférica de nitrógeno o la fijación biológica de este nutriente, ni posibles pérdidas como las ocasionadas por lixiviación, erosión, retrogradación, desnitrificación, volatilización, etc.

Los balances se obtienen de la diferencia entre las aportaciones que se hacen al sistema y las exportaciones que salen del mismo. Como se trata de balances simplificados, para el cálculo de los aportes de nutrientes se han considerado únicamente los abonos orgánicos aplicados, los fertilizantes minerales y el agua de riego, mientras que para el cálculo de las exportaciones se consideran las extracciones de la cosecha recolectada y los residuos retirados de la parcela, expuestos en el apartado anterior. Los balances serán positivos (superávit o excedente) cuando las aportaciones sean mayores que las exportaciones y negativos (déficit) en caso contrario. Hay que tener en cuenta, no obstante, que se han calculado balances anuales y que se parte de suelos con importantes reservas de los nutrientes estudiados, por lo que un déficit no significa que no hayan sufrido un estrés nutricional.

Es conveniente tener en consideración que en el año en que se puso en marcha el proyecto, el número de cultivos practicados fue inferior al de los años siguientes, ya que se empezó a cultivar en primavera. Así pues, en 1998 se llevaron a cabo entre tres y seis cultivos dependiendo del sistema, mientras que en los años restantes el número de especies cultivadas fue superior, llegándose a completar hasta nueve y diez cultivos por parcela. Este factor tuvo un papel fundamental en la cantidad de nutrientes que se aportaron tanto con el agua de riego como con el fertilizante mineral, así como en lo que se exportó de las parcelas. Por ello, junto a los balances propiamente dichos se muestran las relaciones aportes/pérdidas, parámetro con una mayor independencia frente al número de cultivos en la rotación.

En cuanto al abonado orgánico, éste se aplicó en cantidades de 20 a 30 t/ha según el sistema. Estos abonos se aplicaron el primer año de estudio, en los cultivos cabeza de rotación y de forma no simultánea en cada subparcela del sistema.

Es importante señalar el grave problema de abordar el tema de los balances de nutrientes sin una estandarización en su cálculo. A pesar de que los balances se emplean muy a menudo para mejorar la información sobre los fenómenos de contaminación asociados a las prácticas agronómicas, existen varios métodos para calcular estos balances que están basados en hipótesis diferentes, por lo que la comparación de resultados se hace bastante complicada. Este hecho puede observarse en los trabajos de Van Bol et al. (1997), donde se comparan los resultados del balance de nutrientes aplicados a un mismo sistema empleando tres métodos de cálculo diferentes. Se observó una gran variabilidad en los resultados debido a que no se tuvieron en cuenta los mismos factores a la hora de calcular el balance. Por ejemplo, en dos de las tres formas de calcular el balance se tomó como base de las pérdidas de nutrientes lo extraído por las plantas según determinaciones analíticas, mientras que en la restante se emplearon requerimientos teóricos de nutrientes según la especie vegetal que se contempla. Otra de las diferencias importantes es que únicamente en dos de los métodos de cálculo se tuvo en cuenta la fijación de nitrógeno por las leguminosas como una de las fuentes de aporte, encontrándose diferencias del orden de 97 kg N/ha/año frente a -31 kg N/ha/año, dependiendo de que se emplee uno u otro método.

Un caso parecido sucede en el estudio de Nolte y Werner (1994), donde el balance simplificado de nitrógeno alcanzó unos valores extremadamente negativos, del orden de -207 a -347 kg N/ha/año dependiendo del sistema, mientras que cuando se estimaron los aportes de nitrógeno por fijación biológica, los balances resultaron ser positivos con un valor medio de 45 kg N/ha/año.

Además de la fijación de nitrógeno por parte las leguminosas, la heterogeneidad de las diferentes maneras de elaborar los balances de nitrógeno difiere en incluir o no la aportación de este nutriente por deposición atmosférica y en considerar las pérdidas por lixiviación y volatilización.

Asimismo, cuando se revisan los diferentes estudios de balances de nutrientes llevados a cabo en sistemas de agricultura ecológica y biodinámica (Kaffka y Koepf, 1989; Granstedtb, 1992; Fowler et al., 1993; Halberg et al., 1995) se vuelve a poner de manifiesto esta diferencia de modelos conceptuales de cálculo, haciéndose muy difícil la posibilidad de hacer comparaciones entre sistemas. Es por ello que se considera absolutamente necesaria la estandarización de las metodologías de elaboración de balances de nutrientes.

Balances simplificados de nitrógeno

Como se puede observar en la Figura 5, la contribución relativa de las distintas fuentes de nitrógeno es diferente en cada uno de los sistemas, ya que, así como en el sistema Integrado 1 el agua de riego no supone más del 3% del total de las aportaciones, en los sistemas Integrado

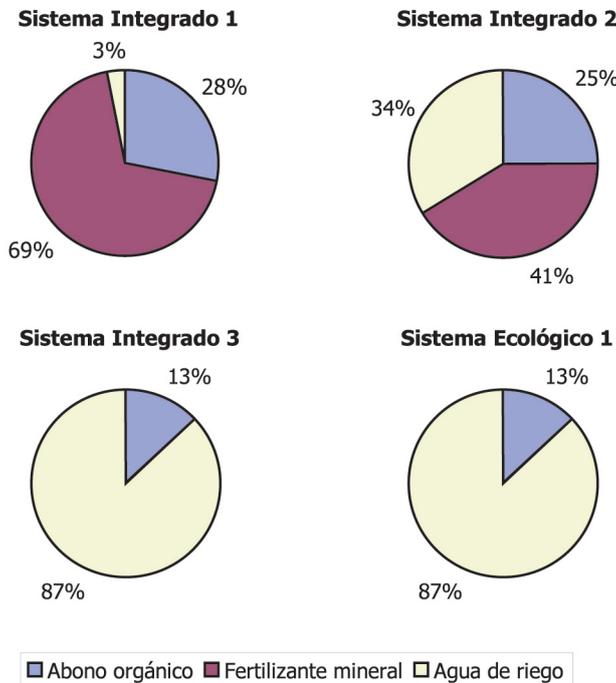
3 y Ecológico 1 es la de mayor importancia, con un 87%. Por ello en ambos no fue necesaria la aplicación de fertilizantes nitrogenados, mientras que en los sistemas Integrados 1 y 2 ésta resultó ser la principal fuente de aporte, con un 69% y 41% respectivamente. El abono orgánico no representó más de la cuarta parte del total de las aportaciones en ninguno de los sistemas. Así pues, dado que las aguas de riego suelen contener elevadas concentraciones de nitratos, se pueden convertir en una vía de entrada de nitrógeno crucial capaz de sustituir buena parte de los fertilizantes aplicados. La concentración de nitrato en el agua empleada en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 es del orden de los 400 mg NO₃⁻/L, llegándose a realizar aportes superiores a los 500 Kg N/ha a través de esta fuente.

En cuanto a las pérdidas de nutrientes, ya se ha indicado anteriormente que hay una diferencia considerable entre los nutrientes que se exportan en el año 1998 y lo de los años siguientes, debido al diferente número de cultivos en estos periodos. Es interesante destacar, que la cantidad más elevada de nitrógeno exportada por los cultivos es la del sistema Integrado 1. Esto se debe a que se obtuvieron rendimientos altos, a que las cosechas se comercializaron y a que los restos de algunos cultivos fueron retirados de la parcela en lugar de ser incorporados. Así pues, las moderadas dosis de fertilizante aplicadas junto a la elevada cantidad de nitrógeno exportado es lo que dio lugar a la obtención de un resultado próximo al equilibrio en el balance total. Sin embargo, en el resto de sistemas, a pesar de que las exportaciones de nitrógeno por parte de los cultivos estuvieron dentro de lo normal, fueron superadas con creces por las aportaciones. En estos sistemas hay que tener en cuenta que prácticamente todos los restos de la cosecha se incorporaron al suelo, por lo que no las pérdidas de nutrientes fueron reducidas.

Los resultados de los balances simplificados de nitrógeno se pueden consultar en la Tabla 20. Como puede apreciarse, los aportes de nitrógeno en el conjunto de la experiencia fueron superiores a las exportaciones en todos los casos, siendo el sistema Integrado 1 el que se encuentra más próximo al equilibrio. En éste se observa una tendencia divergente a la del resto, ya que el balance ha ido disminuyendo con los años, llegándose a alcanzar un déficit de nitrógeno en el último año de la experiencia (-83 kg N/ha/año). Por el contrario, en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 se produjeron los mayores excedentes de nitrógeno, con valores de 1.183 y 1.276 kg N/ha como resultado total de los tres años, ante la dificultad de modificar una fuente de aporte de nutrientes como es el agua de riego. En ambos sistemas se observa un incremento progresivo de los balances anuales en valores absolutos pero, cuando se analizan los resultados en términos relativos, es destacable que la relación aportes/pérdidas del sistema Integrado 3 va disminuyendo ligeramente con los años. En el sistema Integrado 2 los aportes han sido superiores a las pérdidas en todos los casos, manteniéndose los balances en un valor más o menos estable, alrededor de los 300 kg N/ha/año. Por ello, cuando se analiza la evolución del balance en términos relativos se observa una importante reducción de la relación aportes/pérdidas del primer al segundo año.

Es frecuente encontrar excedentes de nitrógeno en los balances realizados por otros autores. Así pues, en un estudio en el que se compararon cuatro rotaciones de cultivo (un sistema de aportes reducidos, uno ecológico y dos convencionales) durante un periodo de 10 años, se obtuvieron balances de nitrógeno positivos en todos ellos, siendo el sistema ecológico el que

Figura 5: Contribuciones relativas de cada fuente de nitrógeno



obtuvo el valor medio anual más elevado: 991 kg N/ha, resultando el que más aportes y menos pérdidas presentaba (Poudel et al., 2001). Como fuentes de aporte de nitrógeno se consideraron los fertilizantes minerales, las enmiendas orgánicas y la fijación atmosférica.

A su vez, Gómez (2001) evaluó los efectos de diferentes tipos de fertilización (orgánica, mineral y organo-mineral) en los balances totales de nitrógeno en una rotación de cultivos hortícolas, obteniendo excedentes en todos los casos, aunque los valores más elevados se registraron en los tratamientos de fertilización orgánica, 3.635 kg N/ha, frente a los 1.867 kg N/ha que se alcanzaron en la fertilización mineral. En una segunda fase de la experiencia (Pomares et al.,

2002) en la que se ajustaron las dosis de fertilizantes, se consiguieron importantes reducciones en los balances de 1.922 kg N/ha en el tratamiento orgánico y 490 kg N/ha en el mineral.

Asimismo, Drinkwater et al. (1998) obtuvieron balances positivos de nitrógeno en dos sistemas de cultivo basados en leguminosas y un sistema convencional. Los resultados de su investigación enfatizaban la importancia de los aportes de carbono en la estabilización del nitrógeno del suelo. La reducción de estos aportes de carbono bajo las prácticas convencionales podría comprometer la capacidad de los suelos para almacenar nitrógeno.

Por el contrario, así como en todos los estudios anteriores se registraron superávits de nitrógeno, Campbell y Zentner (1993) obtuvieron balances extremadamente negativos en quince rotaciones de cultivo, aunque la cantidad de nitrógeno orgánico que contenía el suelo al final de la experiencia no se pudo relacionar directamente con este aparente déficit de nitrógeno resultado de estos balances.

Sin embargo, en un trabajo realizado en Noruega por Haraldsen et al. (2000), en el que se estudiaron los balances y los rendimientos en tres rotaciones de cultivos de seis años de duración, se obtuvieron balances de nitrógeno próximos al equilibrio (30, 2 y 20 kg N/ha/año). La mayor parte del nitrógeno aportado provino de la fijación por parte de las praderas de tréboles incluidas en la rotación. En el cálculo de estos balances no se tuvieron en cuenta las pérdidas por lixiviación y volatilización. Sin embargo, cuando se hizo una estimación de las supuestas pérdidas, en uno de los balances se presentaron déficits como consecuencia de las abundantes lluvias de la zona, que

provocaron pérdidas importantes por lixiviación.

Como ya se ha indicado anteriormente, el proyecto VEGINECO es resultado del trabajo conjunto de varios grupos de investigación de diferentes países de la UE, donde se han puesto en marcha experiencias de similares características a las de este trabajo, por lo que una comparación de los resultados obtenidos resulta de especial interés para valorar la información generada en este trabajo. Una descripción detallada de estos resultados puede encontrarse en el informe final del proyecto (VEGINECO Final Report, 2002). En Holanda, el estudio se llevó a cabo en dos sistemas integrados de agricultura extensiva, en los que se desarrolló una rotación de cultivos durante cuatro años, y un sistema de agricultura ecológica donde se practicó una rotación de seis años. En lo que respecta a los balances de nitrógeno, se encontraron unos resultados relativamente estables durante todo el estudio. En los tres sistemas se obtuvo por término medio un superávit de nitrógeno, alrededor de 100 kg N/ha/año, pero en todos los casos este valor se encontró entre 50-70 kg N/ha por debajo de los valores que se suelen alcanzar en los balances habituales de los sistemas convencionales de similares características.

En Italia, se han desarrollado tres sistemas de producción: un sistema integrado dedicado a la industria de productos congelados, y dos sistemas, uno integrado y otro ecológico, destinados al mercado de hortalizas en fresco. En el primer año se produjo un excedente en el balance de nitrógeno, especialmente en los sistemas destinados al mercado de hortalizas en fresco (en el sistema ecológico llegó a ser del orden de 200 kg N/ha/año). En cambio al año siguiente, con las modificaciones

Tabla 20: Balances simplificados de nitrógeno (kg N/ha)

Fuente	1998	1999	2000	Total
Sistema Integrado 1				
Abono orgánico	150	75,0	--	225
Fertilizante mineral	164	210	174	548
Agua de riego	2,90	4,8	15,9	23,6
Total aportes	317	290	190	797
Exportaciones del cultivo	194	248	273	715
Balance	123	42,2	-83	81,6
Aportes/Pérdidas	1,6	1,2	0,7	1,1
Sistema Integrado 2				
Abono orgánico	250	83,2	--	333
Fertilizante mineral	51,3	230	260	541
Agua de riego	62,2	206	181	449
Total aportes	363	519	441	1323
Exportaciones del cultivo	64,1	142	116	322
Balance	299	377	325	1000
Aportes/Pérdidas	5,7	3,7	3,8	4,1
Sistema Integrado 3				
Abono orgánico	101	101	--	202
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	154	521	683	1358
Total aportes	255	622	683	1560
Exportaciones del cultivo	59,6	142	176	378
Balance	195	480	507	1183
Aportes/Pérdidas	4,3	4,4	3,9	0,9
Sistema Ecológico 1				
Abono orgánico	101	101	--	202
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	201	494	686	1380
Total aportes	302	595	686	1582
Exportaciones del cultivo	58,7	124	124	307
Balance	243	471	562	1276
Aportes/Pérdidas	5,14	4,8	5,5	0,9

introducidas en la rotación de cultivos y en la fertilización, se consiguió una importante disminución del superávit, que en el ecológico fue de 31 kg N/ha/año.

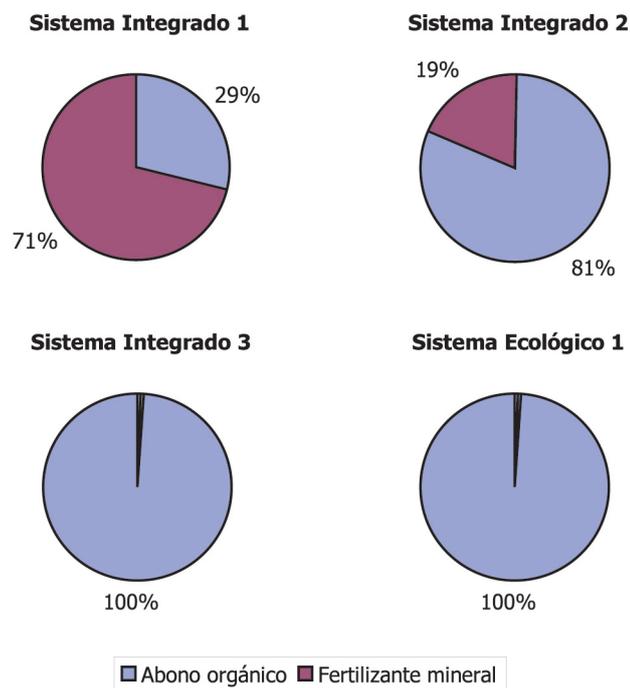
Balances simplificados de fósforo

Como el agua de riego contiene unos niveles bajos de fósforo, los únicos aportes que se han realizado han sido en forma de abono orgánico y fertilizante mineral (Figura 6). Mientras que la principal contribución en el sistema Integrado 1 es el fertilizante mineral (71%), en el Integrado 2 fueron los abonos orgánicos (81%). En los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 únicamente se aportó fósforo en forma de enmiendas, prescindiéndose totalmente de la fertilización mineral, por tratarse de un suelo bien provisto de fósforo asimilable.

Las pérdidas incluidas en los balances, al igual que en los de nitrógeno, son las que se producen con la cosecha recolectada y con los restos de cultivo que se retiran de la parcela. Éstas aumentaron tras el primer año por ser mayor el número de cultivos implantados. De nuevo en el sistema donde se extrajeron las cantidades más elevadas de este nutriente fue en el Integrado 1 ya que, como se ha señalado anteriormente, se finalizaron todos los cultivos satisfactoriamente y hubo una gran cantidad de residuos que se sacaron de la parcela. Por el contrario, el sistema que presentó menos pérdidas de fósforo fue el Ecológico 1.

En la Tabla 21 se muestran los resultados de los balances simplificados de fósforo. Como puede observarse, únicamente se registraron excedentes en el balance final del sistema Integrado 2, y déficits en los restantes, siendo el más acusado el del Integrado 1, con un valor de $-65 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$. En lo que respecta a los balances anuales, las aportaciones fueron mayores a las exportaciones en todos los sistemas del año 1998; sin embargo, en el año siguiente se consiguió reducir los superávits, llegándose incluso a alcanzar valores negativos en los sistemas Integrados 1 y 3 (-22 y $-1,7 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$). Estas reducciones se acentuaron todavía más en el año 2000 debido a que se optó por suprimir completamente la fertilización fosforada en todos los sistemas, al considerar

Figura 6: Contribuciones relativas de cada fuente de fósforo



que las reservas de fósforo disponible del suelo eran adecuadas para satisfacer las necesidades nutritivas de los cultivos.

La disminución de las aportaciones y el aumento de las exportaciones fueron la causa de que el balance descendiera de un año para otro. Coincidiendo con estos resultados se encuentra el estudio de Haraldsen et al. (2000), donde se registraron pequeños déficits de fósforo (-14, -18 kg P₂O₅/ha/año) en dos de los sistemas incluidos en su trabajo. Además, se observó una disminución significativa de la cantidad de fósforo asimilable en el suelo.

A su vez, en el apartado que incluye los balances a nivel de campo dentro del amplio estudio sobre los ciclos de nutrientes realizado por Nolte y Werner (1994), se obtuvieron unos valores de -11, 18, 32 kg P₂O₅/ha para cada uno de los sistemas. Sin embargo, en lo que respecta al balance calculado para la finca entera se observa un déficit de -6,6 kg P₂O₅/ha/año.

Otras experiencias como la de la aplicación de distintos tratamientos de fertilización realizada por Gómez (2001) y Pomares et al. (2002), dieron como resultado unos balances positivos para el fósforo de 906 kg P₂O₅/ha en el tratamiento orgánico que en la segunda etapa se redujeron a 103 kg P₂O₅/ha, frente a 184 kg P₂O₅/ha que pasaron a 125 kg P₂O₅/ha en el tratamiento mineral. Estos excedentes tan elevados en la fertilización orgánica fueron debidos a las altas dosis de enmiendas aportadas al inicio de la experiencia (periodo de conversión) y a las bajas exportaciones de fósforo que presentan los cultivos hortícolas.

Tabla 21: Balances simplificados de fósforo (kg P₂O₅/ha)

Fuente	1998	1999	2000	Total
Sistema Integrado 1				
Abono orgánico	51,5	25,7	--	77,2
Fertilizante mineral	118	67,0	--	185
Agua de riego	--	--	--	0,0
Total aportes	169	92,7	0,0	262
Exportaciones del cultivo	79,9	115	132	327
Balance	89,1	-22,3	-132	-65,2
Aportes/Pérdidas	2,1	0,8	0,0	0,8
Sistema Integrado 2				
Abono orgánico	112	37,5	--	150
Fertilizante mineral	8,10	27,7	--	35,8
Agua de riego	--	--	--	0,0
Total aportes	121	65,2	0,0	186
Exportaciones del cultivo	28,5	53,5	54,4	136
Balance	92,0	11,7	-54,4	49,3
Aportes/Pérdidas	4,2	1,2	0,0	1,4
Sistema Integrado 3				
Abono orgánico	49,0	49,0	--	98,0
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	--	--	--	0,0
Total aportes	49,0	49,0	0,0	98,0
Exportaciones del cultivo	22,7	50,7	56,2	130
Balance	26,3	-1,70	-56,2	-31,6
Aportes/Pérdidas	2,2	1,0	0,0	0,8
Sistema Ecológico 1				
Abono orgánico	49,0	49,0	--	98,0
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	--	--	--	0,0
Total aportes	49,0	49,0	0,0	98,0
Exportaciones del cultivo	18,7	41,9	41,0	102
Balance	30,3	7,10	-41,0	-3,60
Aportes/Pérdidas	2,6	1,2	0,0	1,0

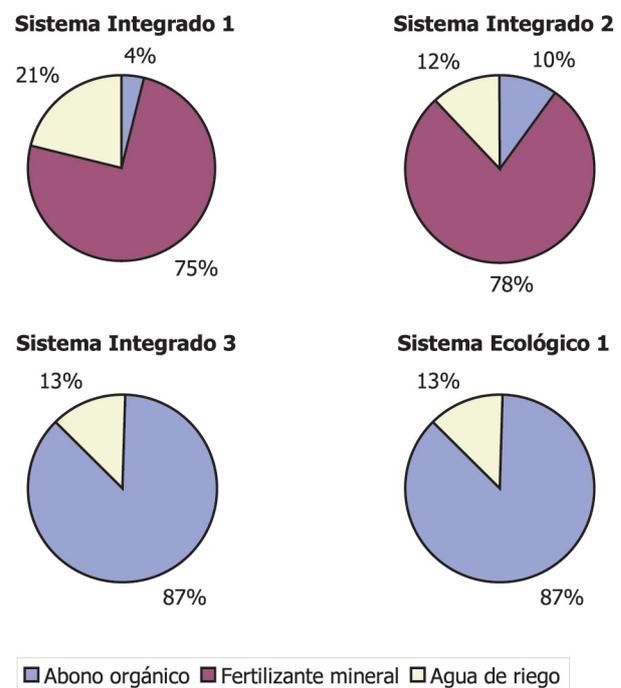
Si se analizan los resultados del resto de países del proyecto VEGINECO, puede verse que, como en los tres sistemas de Holanda las reservas de fósforo se encontraban dentro del rango deseado, la estrategia de fertilización se orientó a mantener estos niveles, consiguiéndose por término medio un balance próximo al equilibrio, alrededor de 20 kg P_2O_5 /ha, tanto en los sistemas integrados como en el ecológico. A pesar de ello, en éste último los balances fueron en aumento año tras año, pero con unos valores siempre por debajo de los excedentes estimados en las prácticas convencionales. Por su parte, en el estudio enmarcado en Italia, el gran excedente inicial que se produjo en la fertilización fosforada al inicio de la experiencia (en el caso del sistema ecológico tomó valores de 159 kg P_2O_5 /ha) fue reducido drásticamente en todos los sistemas, llegándose incluso a alcanzar el objetivo de que los aportes se igualasen a las pérdidas en los dos sistemas integrados del año 2000. A pesar de que en el sistema ecológico se buscaba un déficit en el balance, ya que las reservas de fósforo en el suelo estaban muy por encima del rango óptimo, no se pudo conseguir este objetivo debido a las cantidades fijas de nitrógeno, fósforo y potasio que se encuentran en los fertilizantes orgánicos.

Balances simplificados de potasio

Como se observa en la Figura 7, las aportaciones de potasio se realizaron con el abono orgánico, fertilizante mineral y agua de riego, aunque esta última no fue la vía de entrada más importante en ninguno de los sistemas. Sólomente se hicieron aplicaciones significativas de fertilizante potásico mineral en el sistema Integrado 1, representando el 75% del total de las aportaciones, mientras que la contribución del abono orgánico únicamente fue del 4% debido a que se empleó un compost muy pobre en dicho nutriente (3,02 g K_2O /kg de materia seca). Por el contrario, en el resto de sistemas, las enmiendas orgánicas han representado más de las tres cuartas partes de los aportes realizados.

Se han producido pérdidas importantes de potasio con la cosecha y los restos no incorporados, pues se trata del elemento que las plantas suelen extraer en mayor cantidad. Como ocurre con el resto de nutrientes y por las mismas razones, las mayores exportaciones se produjeron en el sistema Integrado 1. Se han registrado valores de extracción muy variables en función de la especie vegetal, desde 40

Figura 7: Contribuciones relativas de cada fuente de potasio



kg K₂O/ha en lechugas Little gem hasta 750 kg K₂O/ha extraídos en las plantas de brócoli, con lo que éstas últimas van a repercutir de forma significativa en el balance cuando se exporten del sistema.

En la Tabla 22 se recogen los resultados correspondientes a los balances simplificados de potasio. Para este nutriente se ha buscado que las pérdidas superen a los aportes de potasio con el fin de que las reservas de potasio mineral vayan descendiendo, ya que en todos los sistemas se encuentran muy por encima del nivel deseado. Como puede observarse, se ha cumplido este objetivo en los cuatro sistemas estudiados, ya que los balances totales han sido negativos, con déficits desde -34 kg K₂O/ha en el sistema Integrado 2 hasta -664 kg K₂O/ha en el Integrado 1. En los resultados anuales, únicamente se obtuvo un balance positivo (176 kg K₂O/ha) en el primer año del sistema Integrado 2, debido a que la enmienda orgánica aplicada era la más rica en potasio y a que tres cuartas partes de la misma se contabilizaron en el balance de este primer año. En cambio, el resto de sistemas ya se iniciaron con mayores pérdidas que aportes. En los años siguientes los balances se redujeron drásticamente en todos los sistemas, llegándose a alcanzar déficits de hasta -370 kg K₂O/ha/año en el sistema Integrado 1. Esta tendencia a que los balances vayan disminuyendo con los años se produce tanto en valores absolutos como en términos relativos.

Tabla 22. Balances simplificados de potasio (kg K₂O/ha)

Fuente	1998	1999	2000	Total
Sistema Integrado 1				
Abono orgánico	13,5	6,70	--	20,2
Fertilizante mineral	182	195	--	377
Agua de riego	20,8	34,3	51,4	107
Total aportes	216	236	51,4	504
Exportaciones del cultivo	302	442	424	1168
Balance	-85,8	-206	-373	-664
Aportes/Pérdidas	0,7	0,5	0,1	0,4
Sistema Integrado 2				
Abono orgánico	326	109	--	435
Fertilizante mineral	--	68,3	--	68,3
Agua de riego	1,60	43,0	9,50	44,6
Total aportes	328	220	9,50	557
Exportaciones del cultivo	152	280	159	591
Balance	176	-60,0	-150	-34
Aportes/Pérdidas	2,2	0,8	0,1	0,9
Sistema Integrado 3				
Abono orgánico	121	121	--	242
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	5,90	14,5	15,4	35,8
Total aportes	127	136	15,4	278
Exportaciones del cultivo	133	290	230	654
Balance	-6,20	-155	-215	-376
Aportes/Pérdidas	1,0	0,5	0,1	0,4
Sistema Ecológico 1				
Abono orgánico	121	121	--	242
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	4,90	15,7	15,4	36,0
Total aportes	126	137	15,4	278
Exportaciones del cultivo	129	224	177	530
Balance	-3,10	-86,9	-162	-252
Aportes/Pérdidas	1,0	0,6	0,1	0,5

Resultados similares se pueden ver en los estudios de Nolte y Werner (1994), pues obtuvieron unos valores extremadamente negativos para el potasio, del orden de -421, -488 y -494 kg K₂O/ha. Haraldsen et al. (2000) también encontró balances negativos de potasio en los tres sistemas ecológicos que analizó, con unos valores de -112,

-63 y -69 kg K_2O /ha/año, encontrándose además disminuciones significativas de dicho elemento en las reservas del suelo del sistema que poseía el balance más negativo.

Por el contrario, en el estudio de Gómez (2001) se produjeron excedentes de potasio en todos los tratamientos aplicados, aunque como ya se ha expuesto en los nutrientes anteriores, el balance en la fertilización orgánica fue el más elevado, 1.417 kg K_2O /ha, frente a 402 kg K_2O /ha de la fertilización mineral. De nuevo, en la segunda fase de la experiencia (Pomares et al., 2002), se consiguieron considerables reducciones en sendos balances: -73 y -212 kg K_2O /ha, respectivamente, gracias a ajustes en las dosis de fertilizante aplicado.

Dentro del proyecto VEGINECO, las medias de los balances de potasio en los sistemas integrados holandeses estuvieron próximas al equilibrio entre aportes y pérdidas de nutrientes, pero sin embargo en el sistema ecológico se registró un superávit medio de 75 kg K_2O /ha, como consecuencia de las variaciones en el contenido y en la relación de nutrientes de las enmiendas orgánicas empleadas. Es por ello que no fue posible disminuir el balance potásico, ya que entonces no se añadía el suficiente fósforo y nitrógeno en la rotación, debido a que generalmente la relación P_2O_5/K_2O de los abonos orgánicos no es la más adecuada.

En los sistemas de producción italianos se consiguió una reducción en la fertilización potásica durante el transcurso de la experiencia. En los dos últimos años se obtuvieron balances negativos en los tres sistemas, cumpliendo así con la estrategia de fertilización de los sistemas de hortalizas en fresco, ya que las reservas de los mismos eran demasiado elevadas. La media del balance potásico en los sistemas integrados se encontró próxima al equilibrio, mientras que en el sistema ecológico se obtuvo un déficit medio de -60 kg K_2O /ha.

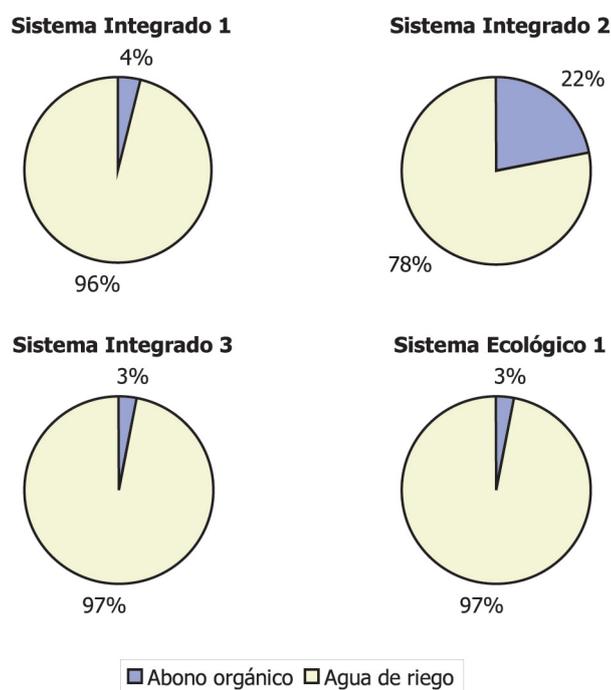
Balances simplificados de magnesio

En la Figura 8 puede observarse que las únicas fuentes de magnesio han sido el abono orgánico y el agua de riego, siendo esta última la que ha jugado el papel determinante en los balances, ya que las aguas empleadas poseían concentraciones que oscilaron entre los 30 y los 130 mg MgO/L . Con una contribución relativa por encima del 95% en los sistemas Integrado 1 y 3 y Ecológico 1, y del 78% en el sistema Integrado 2, es virtualmente imposible controlar el progresivo enriquecimiento de los suelos en dicho nutriente. Una posible solución sería la sustitución del agua de riego por otra que tuviese un contenido más bajo en magnesio, pero pocas veces se puede optar por cambiar el origen del suministro de agua.

Unido a esto hay que destacar que el magnesio es el elemento que las plantas extraen en menor proporción de los cuatro que se han estudiado, con lo que se imposibilita aún más establecer el deseado equilibrio entre los aportes y las pérdidas producidas con la cosecha y los restos no incorporados. Como sucede con el resto de nutrientes, y por las mismas razones, el sistema que presenta mayores salidas de magnesio es el Integrado 1 y el que menos el Ecológico 1.

Como puede observarse en la Tabla 23, se han registrado grandes excedentes de magnesio en los resultados finales de la experiencia, con valores alrededor de los 2.220 kg MgO/ha en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1, siendo el registro más bajo el del Integrado 2, con 577 kg MgO/ha. Además, hay una clara tendencia al crecimiento anual de estos balances a medida que transcurre la experiencia, a pesar de que se prescindió totalmente de la aplicación de fertilizantes minerales, como consecuencia de las ingentes cantidades que se aportan con el riego. Es especialmente acusado el incremento observado en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1, en los que se alcanzan valores superiores a 1.000 kg MgO/ha en el último año de estudio. Únicamente se observa una reducción en valores absolutos en el sistema Integrado 2 del año 1999 al 2000 ya que se pasa de 262 a 135 kg MgO/ha.

Figura 8: Contribuciones relativas de cada fuente de magnesio



Problemas de similares características se presentaron en el estudio de Gómez (2001), en el que se registraron excedentes de 3.297 kg MgO/ha en el balance total correspondiente a la fertilización orgánica y de 1.684 kg MgO/ha en la fertilización mineral. Al contrario de lo que se ha comentado para los otros nutrientes, estos resultados no se consiguieron mejorar en la segunda fase de la experiencia (Pomares et al., 2002) como consecuencia de la dificultad de corregir el aporte a través del agua de riego.

En el trabajo de Nolte y Werner (1994), ya citado anteriormente, se consiguió obtener balances muy equilibrados en dos de los cultivos escogidos. Sin embargo, el resultado registrado para el cultivo restante fue bastante elevado, 537 kg MgO/ha, como consecuencia de emplear limo margoso como enmienda.

A diferencia de los nutrientes vistos anteriormente, en el resto de países que han formado parte del proyecto VEGINECO, no se han realizado los balances de magnesio por tratarse de cultivos extensivos en los que no se aportaban cantidades importantes de magnesio con el agua de riego.

Tabla 23. Balances simplificados de magnesio (kg MgO/ha)

Fuente	1998	1999	2000	Total
Sistema Integrado 1				
Abono orgánico	39,3	19,6	--	58,9
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	191	316	857	1363
Total aportes	230	335	857	1422
Exportaciones del cultivo	54,8	66,9	62,8	185
Balance	175	268	794	1238
Aportes/Pérdidas	4,2	5,0	13,6	7,7
Sistema Integrado 2				
Abono orgánico	105	35,0	--	140
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	85,7	248	150	483
Total aportes	191	283	150	623
Exportaciones del cultivo	11,3	20,9	14,7	46,9
Balance	179	262	135	577
Aportes/Pérdidas	16,9	13,5	10,2	13,3
Sistema Integrado 3				
Abono orgánico	35,0	35,0	--	70,0
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	313	854,0	1053	2219
Total aportes	348	889	1053	2289
Exportaciones del cultivo	12,6	25,8	29,0	67,4
Balance	335	863	1024	2222
Aportes/Pérdidas	27,6	34,5	36,3	40,0
Sistema Ecológico 1				
Abono orgánico	35,0	35,0	--	70,0
Fertilizante mineral	--	--	--	0,0
Agua de riego	334	819	1055	2207
Total aportes	369	854	1055	2277
Exportaciones del cultivo	10,7	19,5	19,2	49,4
Balance	358	834	1036	2228
Aportes/Pérdidas	34,5	43,8	54,9	46,1

Relación entre los balances y los contenidos de nutrientes asimilables en el suelo

Como ya se ha apuntado, los balances son estudios teóricos que pretenden dar una mayor información acerca de los flujos de nutrientes en el suelo ante los aportes y las pérdidas que se producen en el sistema derivados de las prácticas agrícolas. Su cálculo exige, no obstante, la generación de un importante acúmulo de datos que no siempre resulta viable. Dada la sencillez de la determinación analítica del contenido de nutrientes asimilables en los suelos ésta se ha realizado no sólo para conocer el estado de las reservas asimilables del suelo, sino para comparar estos resultados con los calculados teóricamente con los balances, comprobando así si existe una relación directa entre ellos o si pueden proporcionar algún tipo de información útil acerca de los mismos. Hay que tener en cuenta, no obstante, que una cosa son las cantidades totales de elementos fertilizantes que existen en el sistema y otra los contenidos de nutrientes asimilables para las plantas que se determinan en los análisis, sujetos a una serie de procesos fisicoquímicos interrelacionados en diferentes compartimentos del suelo.

En la Tabla 24 se presentan los contenidos de nutrientes asimilables que se encontraron en el suelo de cada sistema al final de cada año y los niveles que se consideran adecuados para el desarrollo de las plantas.

Nitrógeno

A diferencia del resto de nutrientes, hay que señalar que en el caso del nitrógeno mineral únicamente se ha realizado el análisis de las reservas minerales del suelo en el año 1999 y 2000, debido a una serie de incidencias analíticas. En todos los sistemas, estas reservas, medidas al inicio de la época más lluviosa, se encontraron muy por encima del valor marcado como objetivo en el proyecto, registrándose los niveles más elevados en el sistema Integrado 3 (410 kg N/ha), aunque se observaron reducciones importantes de un año para otro en tres de los sistemas (Integrado 2 y 3 y Ecológico 1), del orden de 136, 158 y 101 kg N/ha, respectivamente. Por el contrario, el suelo del sistema Integrado 1 es el que ha contenido el nivel más bajo de nitrógeno mineral en los dos años estudiados, 108 y 186 kg N/ha.

En el caso del nitrógeno no se ha podido comparar la evolución de las reservas de nitrógeno mineral con los resultados de los balances porque, como ya se ha indicado, no se dispone de los análisis de suelo correspondientes a la primera campaña de la experiencia.

Tabla 24. Balances (expresados en forma de relación aportes/pérdidas) y reservas de nutrientes y materia orgánica en el suelo: objetivos y resultados

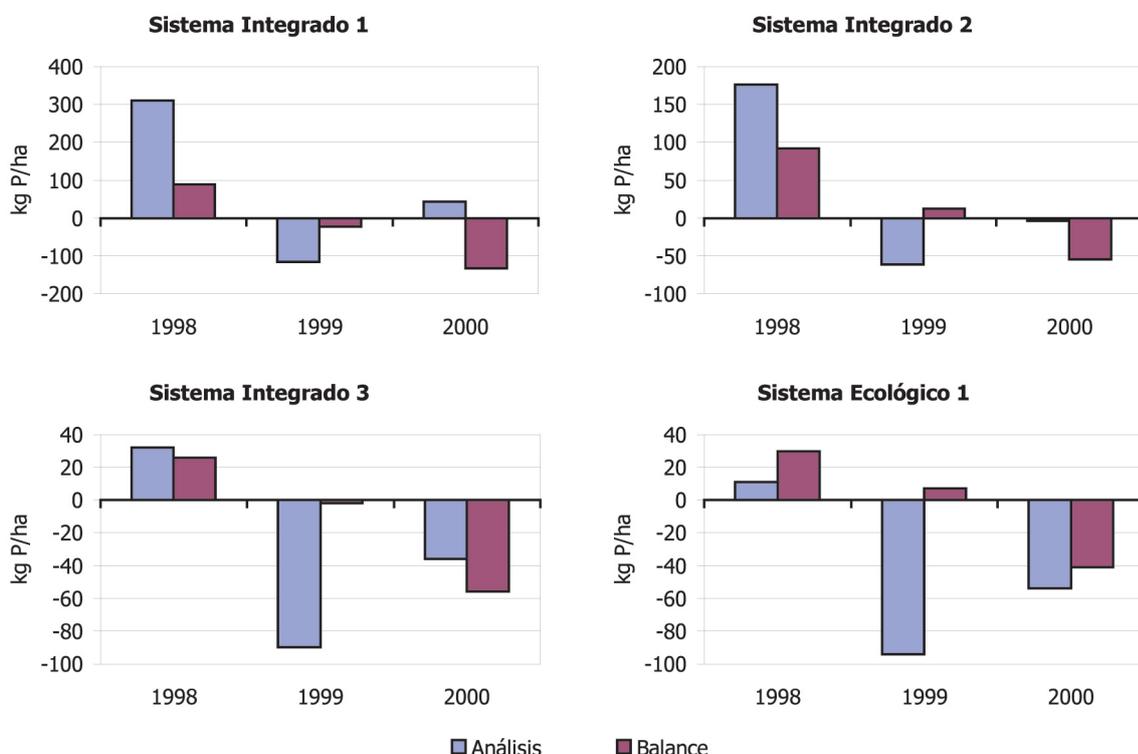
Parámetros	Objetivos	Resultados		
		1998	1999	2000
Sistema Integrado 1				
Balance anual de fósforo	<1,00	2,11	0,81	0
Balance anual de potasio	<1,00	0,72	0,53	0,12
Balance anual de magnesio	<1,00	4,20	5,00	13,6
Balance anual de materia orgánica	>1,00	1,48	0,70	0,92
Contenido de fósforo asimilable	30-45 mg P/kg	255	223	235
Contenido de potasio asimilable	150-300 mg K/kg	1078	916	907
Contenido de magnesio asimilable	80-120 mg Mg/kg	591	570	601
Contenido de materia orgánica	≥2%	2,98	2,86	2,68
Sistema Integrado 2				
Balance anual de fósforo	<1,00	4,25	1,22	0
Balance anual de potasio	1<,00	2,16	0,79	0,06
Balance anual de magnesio	<1,00	16,9	13,5	10,2
Balance anual de materia orgánica	>1,00	1,55	1,18	0,84
Contenido de fósforo asimilable	30-45 mg P/kg	280	263	262
Contenido de potasio asimilable	150-300 mg K/kg	825	746	654
Contenido de magnesio asimilable	80-120 mg Mg/kg	258	230	225
Contenido de materia orgánica	≥2%	2,87	3,01	2,47
Sistema Integrado 3				
Balance anual de fósforo	<1,00	2,16	0,97	0
Balance anual de potasio	<1,00	0,95	0,47	0,07
Balance anual de magnesio	<1,00	27,6	34,5	36,3
Balance anual de materia orgánica	>1,00	2,42	1,96	1,63
Contenido de fósforo asimilable	30-45 mg P/kg	122	97	87
Contenido de potasio asimilable	150-300 mg K/kg	599	471	353
Contenido de magnesio asimilable	80-120 mg Mg/kg	348	387	361
Contenido de materia orgánica	≥2%	1,82	1,78	1,72
Sistema Ecológico 1				
Balance anual de fósforo	<1,00	2,62	1,17	0
Balance anual de potasio	<1,00	0,98	0,61	0,08
Balance anual de magnesio	<1,00	34,5	43,8	54,9
Balance anual de materia orgánica	>1,00	2,30	1,58	1,59
Contenido de fósforo asimilable	30-45 mg P/kg	118	92	87
Contenido de potasio asimilable	150-300 mg K/kg	733	513	350
Contenido de magnesio asimilable	80-120 mg Mg/kg	322	419	361
Contenido de materia orgánica	≥2%	1,92	2,09	1,87

Fósforo

Si se analizan los contenidos de fósforo asimilable en el suelo, todos ellos se encontraron muy por encima de los niveles considerados óptimos para el buen funcionamiento de los cultivos y para que se pueda clasificar un suelo de buena calidad desde el punto de vista del uso agrícola, pero se observó una ligera tendencia a la disminución de los mismos a medida que transcurrió la experiencia, a pesar de que, debido al corto periodo de tiempo que ha durado el estudio y a la cantidad de procesos fisicoquímicos que influyen, no se puede hablar de un efecto claro de la estrategia de fertilización en las reservas de nutrientes en el suelo.

Cuando se comparó la evolución de los contenidos de fósforo asimilable en los suelos con los niveles estimados en los balances, se observaron algunas divergencias (véase Figura 9). En primer lugar indicar que los incrementos iniciales que se registraron en las analíticas del suelo fueron bastante más elevados que los excedentes calculados con los balances en los sistemas Integrados 1 y 2. Esto pudo ser debido a un aumento de la actividad biológica tras los nuevos aportes orgánicos, que favoreció la mineralización de los componentes orgánicos ya existentes en el suelo, con la consecuente liberación de fósforo. Sin embargo, no se observaron prácticamente diferencias en los otros dos sistemas. En el año siguiente se produjo una caída en los contenidos de fósforo asimilable de todos los sistemas, que coincidieron en tendencia pero no en magnitud con los resultados de los

Figura 9: Comparación de la evolución de los balances y los contenidos de fósforo asimilable en el suelo



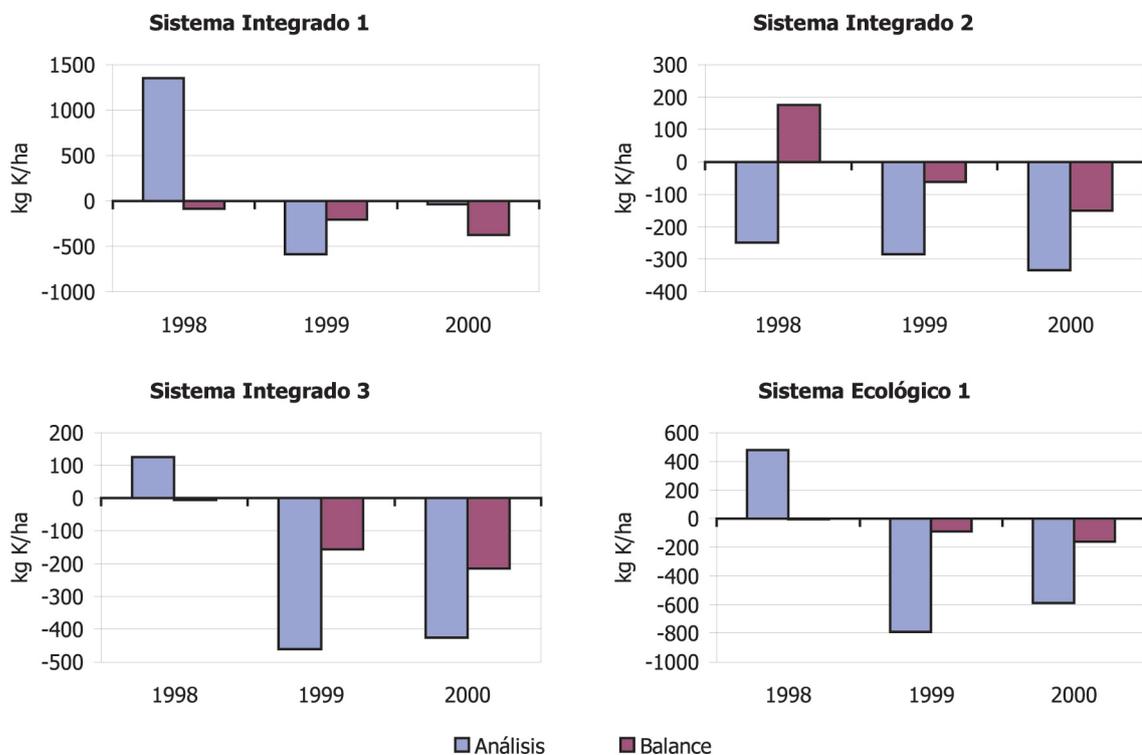
balances. Por el contrario, a pesar de que los balances continuaron descendiendo en el año 2000, la evolución de las reservas no fue tan homogénea, sobre todo en el sistema Integrado 1, donde se produjo un aumento en el contenido de fósforo asimilable y un déficit en el balance.

Potasio

Resultan alarmantes algunas de las cantidades de potasio asimilable que se han alcanzado en sistemas como el Integrado 1, con valores próximos a 1000 mg K/kg suelo. Afortunadamente, se observó una tendencia a la disminución de los mismos con el paso de los años, llegando incluso a que se presentaran niveles muy próximos al máximo del intervalo deseado en el sistema Integrado 3 y en el Ecológico 1 (se ha pasado de 599 y 733 mg K/kg suelo en el año 1998 a 353 y 350 mg k/kg suelo en el año 2000, respectivamente).

Al comparar la evolución de los balances de potasio con la de los contenidos asimilables en el suelo se pueden constatar algunas diferencias (Figura 10). En el primer año, los aportes de potasio no fueron suficientes para compensar las pérdidas por exportación de los cultivos en los sistemas Integrados 1 y 3 y en el Ecológico 1, y sin embargo se produjo un incremento en los

Figura 10: Comparación de la evolución de los balances y los contenidos de potasio asimilable en el suelo

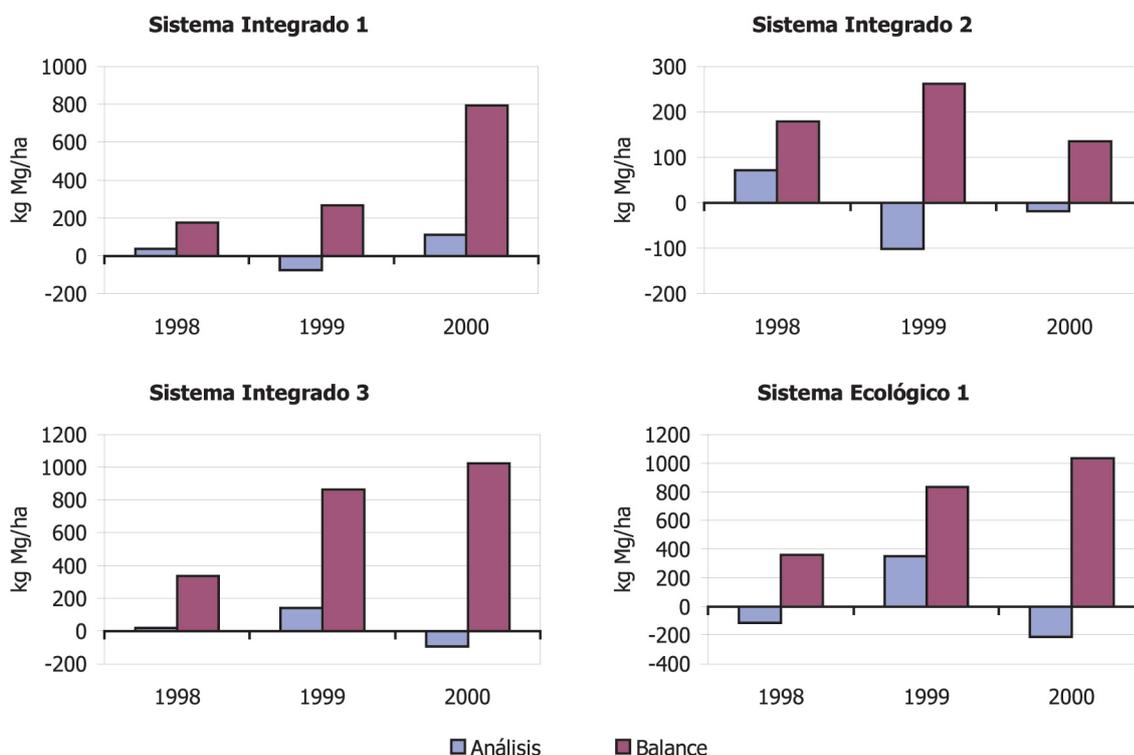


contenidos de potasio asimilable, sobre todo en el Integrado 1, debido a la entrada de importantes cantidades de este nutriente en forma de fertilizante mineral. En el resto de sistemas no se realizó este tipo de aporte, por lo que el incremento podría deberse a la liberación del potasio atrapado en las redes cristalinas de algunas arcillas o al procedente de la mineralización de la materia orgánica. Por el contrario, en el sistema Integrado 2 se observó una reducción de la fracción asimilable, a pesar del superávit de potasio, que pudo estar causada por: pérdidas por lavado, inmovilización en la biomasa microbiana, o retrogradación. En el año 1999, disminuyeron considerablemente tanto la fracción asimilable como los balances, tendencia que continuó al año siguiente en los sistemas Integrados 2 y 3, y Ecológico 1, mientras que en el sistema Integrado 1 se observó un aumento del contenido de potasio asimilable, a pesar del déficit en el balance.

Magnesio

Los contenidos de magnesio asimilable en los suelos estudiados no presentaron grandes variaciones con los años. Como ha ocurrido con el resto de los nutrientes, las reservas se encontraron muy por encima de los niveles óptimos, registrándose los niveles más elevados en el sistema Integrado 1. Sin embargo, su evolución no ha ido pareja a la de los balances, ya que no se observaron incrementos importantes a lo largo de toda la experiencia (véase Figura 11). Así pues, los excedentes calculados en los balances no se tradujeron en un incremento en los contenidos

Figura 11: Comparación de la evolución de los balances y los contenidos de magnesio asimilable en el suelo



de magnesio asimilable del suelo, probablemente debido a pérdidas que se hayan producido por la lixiviación del magnesio, dado que es un elemento fertilizante que queda poco retenido en el complejo adsorbente y puede moverse fácilmente en el suelo disuelto en forma de óxido magnésico.

Balances de materia orgánica

La materia orgánica desempeña un papel fundamental en la fertilidad de los suelos, siendo la principal fuente de nutrientes en los sistemas agrícolas sostenibles. Un programa de fertilización adecuado debe tratar de conseguir suelos de fertilidad elevada, tanto física, química como biológica, procurando minimizar las pérdidas de nutrientes, fundamentalmente de nitrógeno. Los aportes de materia orgánica pueden tener un doble objetivo: elevar el nivel de materia orgánica en suelos pobres o conservar el nivel adecuado en suelos bien dotados.

Con este fin se ha elaborado una serie de balances anuales de materia orgánica humificada para cada sistema de producción. En ellos se incluye tanto la aportación de materia orgánica que se realiza en el sistema a través de fuentes externas (estiércoles, compost, sustrato de los cepellones, etc.) e internas (abonos verdes, restos de cultivos, etc.), como las pérdidas que se producen por mineralización de la materia orgánica del suelo.

Para calcular los aportes de materia orgánica de una fuente determinada es necesario conocer la capacidad que tiene para generar humus (valor humígeno). Para ello se ha propuesto utilizar el coeficiente isohúmico (K_1), que expresa la cantidad de humus que puede formarse anualmente por unidad de peso de materia seca de la fuente de materia orgánica utilizada. Como puede observarse en la Tabla 25, no hay homogeneidad entre los distintos autores a la hora de asignar un valor de K_1 para cada una de las fuentes de materia orgánica. Los valores utilizados en este estudio proceden de estimaciones realizadas a partir de los datos bibliográficos:

- 0,50 para los abonos orgánicos
- 0,90 para los sustratos de las plántulas (suponiendo un 33 % de humedad resulta 0,60)
- 0,20-0,25 para los abonos verdes, según cultivo
- 0,15-0,20 para los residuos de cultivo, según el grado de lignificación

Además, se ha tenido en consideración el aporte de materia orgánica que se realiza con las raíces del cultivo y cuya cantidad no es tan fácil de determinar como la parte aérea de los restos de cosecha. Para contabilizar este aporte extra, se ha hecho una estimación en base a los datos de Odet (1989), siendo la alcachofa la especie que más cantidad de biomasa aporta con su sistema radicular, 2.000 kg/ha, frente a los escasos 100 kg/ha de la lechuga.

Siguiendo con el modelo de Henin y Dupuis (1945), el coeficiente de mineralización (K_2) indica la fracción de humus (expresada en porcentaje o en tanto por uno) del suelo que se mineraliza anualmente. El K_2 que se ha tomado para la elaboración de estos balances ha sido 0,02, valor dado por Tames (1975) para los suelos de regadío del Levante español (Saña et al., 1996).

Tabla 25. Coeficientes isohúmicos K_1 de diferentes residuos vegetales y abonos orgánicos según diferentes autores (Labrador, 1996)

Especie	Autor			
	Soltner (1990)	Muller (1982)	Boiffin et al. (1986)	Delas y Molot (1983)
Trigo/cebada/avena				
-raíces	0,15	0,08	0,15	-
-partes aéreas	0,15	0,08	0,08	0,14
Maíz				
-raíces	0,15	0,06	0,15	-
-partes aéreas	0,08	0,06	0,12 ⁽²⁾	0,20
Remolacha				
-raíces	0,15	-	0,15	-
-partes aéreas	-	0,04	-	-
Patata				
-raíces	0,15	-	0,15	-
-partes aéreas	-	-	-	-
Colza				
-raíces	0,15	0,10	0,15	-
-partes aéreas	0,15	0,10	-	-
Restos de prados				
	-	0,15	-	-
Guisante/judía/haba				
-raíces	0,15	-	0,15	-
-partes aéreas	0,08	-	0,08	-
Lino				
-raíces	0,15	-	-	-
-partes aéreas	0,20	-	-	-
Abono verde				
-raíces	0,15	-	0,15	-
-partes aéreas	0,05-0,08 ⁽¹⁾	0,01	0	-
Alfalfa				
-raíces	0,20	-	0,15	-
-partes aéreas	0,12	0,15	0,12	-
Abonos orgánicos				
- Estiércol bien maduro	0,50	0,30-0,50	0,30	0,32
- Estiércol semimaduro	0,40	-	0,30	0,32
- Estiércol fresco con paja	0,25	0,20-0,40	0,30	0,32
- compost RSU	0,25	-	-	-
- lodos EDAR	0,20	-	0,20	-
- turba	1	-	-	-
- sarmientos/orujo	-	-	-	0,37
- restos forestales	-	-	-	0,31

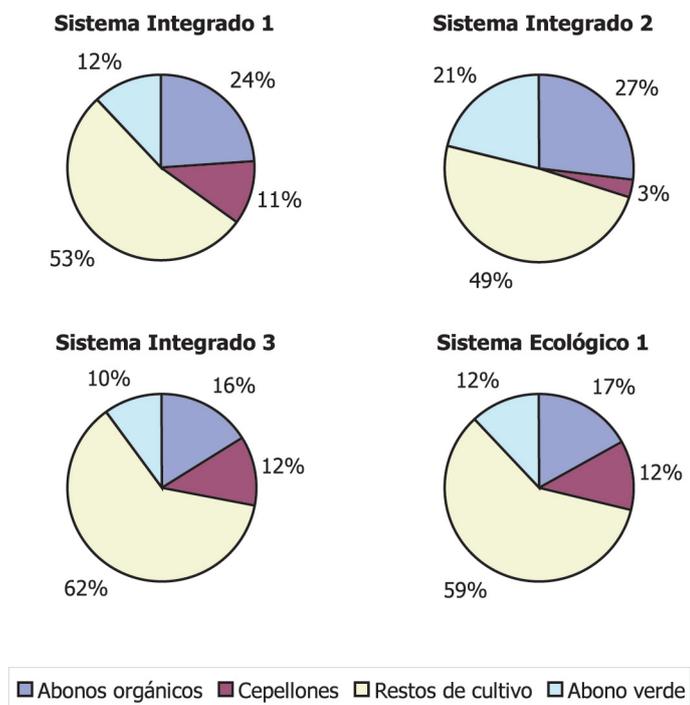
⁽¹⁾ Según que el abono verde contenga mucha o poca lignina

⁽²⁾ 0,10 para la base de los tallos del maíz no recolectados para ensilar

Balances anuales de materia orgánica

En la Figura 12 se puede observar que la contribución de los restos de cultivo ha sido la que más humus generó en todos los sistemas en el conjunto de la experiencia, mientras que la de menor importancia fue la realizada con los sustratos de las plántulas. Si se analiza la contribución anual relativa de cada fuente, hay que destacar que durante el primer año no se realizó ningún aporte en forma de abono verde, recayendo fundamentalmente el peso de la fertilización en el empleo de enmiendas orgánicas. Sin embargo, en los años siguientes empezaron a cobrar importancia las fuentes internas de suministro de nutrientes (restos de cultivo y abonos verdes) frente a las externas, que no llegaron a representar más del 20% de los aportes en todos los sistemas, excepto en el año 1999 en el Integrado 1, con un 43%. El que las fuentes internas proporcionen más del 50% del humus total producido es una prueba más de la importancia de la incorporación de los residuos de cultivo para mantener o mejorar el contenido en materia orgánica de los suelos, pues en caso contrario sería necesario incrementar las aportes mediante abonos orgánicos, con el consiguiente aumento en los costes de producción.

Figura 12: Contribuciones relativas de cada fuente de materia orgánica



Frente a las opiniones de algunos autores que subestiman el papel de los abonos verdes como fuente productora de humus (Labrador, 1996), en el presente trabajo se puede constatar la importancia de esta contribución, quedando claramente reflejada en algunos casos, como en el sistema Integrado 2, donde se han llegado a producir 3.051 kg humus/ha/año a través de esta fuente. No obstante, la utilización de un abono verde exige un estudio previo minucioso, ya que no es una práctica exenta de riesgos, fundamentalmente cuando se producen competencias por el agua, la luz o los nutrientes con el cultivo principal, o bien cuando aparecen invasiones repetitivas de flora arvense.

Como ya se ha indicado anteriormente, las pérdidas de humus se producen por la mineralización de la materia orgánica del suelo. El sistema que posee una tasa de mineralización más elevada, con pérdidas de hasta 2.138 kg humus/ha/año, ha sido el Integrado 2, y los de tasas más bajas, el Integrado 3 y Ecológico 1, con valores alrededor de los 600 kg humus/ha/año en el 1998. Estos resultados son consecuencia de los correspondientes niveles de materia orgánica en

el suelo de cada sistema y están prácticamente dentro del rango encontrado por Urbano Terrón (1992) para los suelos españoles, en los que se ha constatado que las pérdidas de humus por mineralización varían entre 200 y 2.000 kg/ha/año, donde las cifras más bajas corresponden a suelos con bajo contenido en materia orgánica y débil velocidad de mineralización (por tratarse de zonas frías, áridas, de secano, con laboreo reducido, etc.) y las más altas las dan los suelos más profundos, con un elevado contenido en materia orgánica y alta velocidad de mineralización (zonas cálidas, húmedas, irrigados, frecuentemente labrados, etc.).

El balance anual de materia orgánica se ha expresado como la diferencia o como la relación entre las aportaciones y las pérdidas de materia orgánica en el sistema. El objetivo a alcanzar en estos balances es que los aportes superen a las pérdidas para así incrementar la cantidad de materia orgánica en el suelo, ya que los agrosistemas suelen presentar un contenido bastante bajo en la misma. No obstante, como puede observarse en las Tablas 26, 27, 28 y 29 existe una tendencia general en todos los sistemas a que los balances disminuyan anualmente, llegándose a déficits en los sistemas Integrados 1 y 2. Esto es debido a que la mayor parte de los aportes en forma de abonos orgánicos se contabilizaron en el primer año, de forma que en el año 2000 ya no se aplicaron enmiendas de este tipo en ninguno de los sistemas, razón por la cual es el año en el que se registraron los valores más bajos.

Si se analizan de manera individual los balances anuales de cada uno de los diferentes sistemas, hay que destacar que fue en el sistema Integrado 1 donde se presentaron los balances anuales de materia orgánica más bajos, debido fundamentalmente a que una parte importante de los restos de cultivo no se incorporaron al terreno, al destinarse a la alimentación del ganado. En el año 1999 se presentó el balance más bajo de los tres años y de los cuatro sistemas, con un déficit de -615 kg humus/ha/año, generándose únicamente 2.413 kg humus/ha provenientes de la incorporación de los residuos del cultivo. Una aportación bastante baja junto a una tasa de mineralización elevada dio lugar a balances negativos en los dos últimos años.

Una tendencia similar se ha observado en los resultados del sistema Integrado 2, cuyos balances fueron positivos los dos primeros años, pero fueron disminuyendo gradualmente hasta que las pérdidas superaron a los aportes en el año 2000. Hay que constatar que éste es el sistema donde el abono verde cobró mayor importancia, representando el 30% y el 27% del total de las aportaciones en el año 1999 y 2000, respectivamente.

Por el contrario, en los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1, los aportes de materia orgánica superaron con creces a las pérdidas por mineralización en los tres años de estudio, cumpliendo así con el objetivo previamente marcado, aspecto de gran interés por tratarse de los sistemas con menor contenido en materia orgánica, todos ellos por debajo del 2%. Los resultados de los balances anuales en el sistema Ecológico 1 se mantuvieron más o menos estables en valor absoluto, alrededor de 800 kg humus/ha, pero si se analiza la evolución de la relación aportes/pérdidas sí que se observa una caída progresiva de las mismas, cosa que también sucede en el sistema Integrado 3.

Según Urbano Terrón (1992), en suelos agrícolas con un adecuado nivel de materia orgánica y un buen ritmo de mineralización es difícil mantener la fertilidad húmica con los restos de cosecha únicamente. Incluso las mejores rotaciones de cultivo no van a proporcionar más del 50% del humus que se pierde por mineralización. En este sentido se aceptan como adecuadas aquellas que devuelven al suelo entre un 30-50 % del humus mineralizado. Sin embargo, en el caso de suelos que no poseen tanta materia orgánica ni presentan esta velocidad de mineralización, al ser las pérdidas menores, los residuos de cosecha podrían llegar a superar, incluso, las pérdidas por mineralización. Esta última afirmación se ha puesto de manifiesto en el presente trabajo, ya que en las parcelas Integrada 3 y Ecológica 1, donde el nivel de materia orgánica no es tan elevado, se ha conseguido superar las pérdidas con la incorporación única de los restos de cosecha en los dos últimos años para el sistema Integrado 3, y en el año 1999 para el sistema Ecológico 1. Como se puede observar, esta fuente de materia orgánica ha sido la más importante, sobre todo en el segundo año, llegando a representar un 81-82% del total de los aportes, siendo suficiente para superar las pérdidas por mineralización.

Como ya se ha hecho con los balances de nutrientes, se van a incluir los resultados de los balances de materia orgánica obtenidos en el resto de países que han formado parte del proyecto VEGINECO, pues son experiencias similares a las nuestras y resultan interesantes para la discusión de estos resultados. En lo que respecta a los sistemas holandeses, los aportes realizados estuvieron siempre por encima de las pérdidas estimadas por mineralización, siendo las contribuciones más importantes la de los restos de cultivo y paja de cereal. Es decir, en todos los casos se obtuvieron excedentes de materia orgánica, cumpliendo con lo marcado como objetivo, y contribuyendo a aumentar su contenido en los suelos de cultivo estudiados.

Por el contrario, en dos de los sistemas italianos (el integrado dedicado a la industria de congelados y el ecológico) no se alcanzaron los niveles de aportes necesarios para que el balance fuese positivo. En este sistema integrado, al considerar que la tasa de mineralización era menor a la de los otros dos sistemas, se decidió únicamente aportar nutrientes a través de los restos de cultivo y cultivos trampa, y no mediante enmiendas orgánicas, pero esta contribución no fue suficiente para compensar las pérdidas. Sin embargo, en el sistema integrado destinado al mercado de hortalizas en fresco el balance fue positivo, debido fundamentalmente a la gran contribución de materia orgánica que se realizó con los cepellones.

En el estudio ya mencionado anteriormente (Gómez, 2001) se puede observar que en todos los tratamientos de fertilización que se compararon se obtuvieron balances de humus positivos, si bien los valores alcanzados con la fertilización orgánica y organo-mineral fueron mucho más elevados que los hallados en la mineral. Asimismo, en algunos cultivos como el brócoli se constató que la incorporación al suelo de la biomasa correspondiente a los restos de cultivo generó una cantidad de humus superior a la perdida en el proceso de mineralización, al contrario de lo que ocurre con otros cultivos como la alcachofa, la lechuga o la patata.

Tabla 26. Balances anuales de materia orgánica en el sistema Integrado 1

Fuente de humus		Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)	Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Externas	Abonos orgánicos	3148	39,8	3148	46,8
	Cepellones	404	5,10	404	6,00
Internas	Restos de cultivo	4348	55,0	3173	47,2
	Abono verde	0,0	0,0	0,0	0,0
Aportación total		7900	100	6724	100
Aportación media		1975		1681	
Pérdida por mineralización		1330		1330	
Balance		645		351	
Aportaciones/Pérdidas		1,48		1,26	
1999					
Externas	Abonos orgánicos	1574	27,6	1574	32,6
	Cepellones	877	15,4	877	18,2
Internas	Restos de cultivo	2413	42,3	1929	39,9
	Abono verde	835	14,7	451	9,3
Aportación total		5699	100	4831	100
Aportación media		1425		1208	
Pérdida por mineralización		2040		2040	
Balance		-615		-832	
Aportaciones/Pérdidas		0,70		0,59	
2000					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	877	14,1	877	19,4
Internas	Restos de cultivo	3803	61,2	2811	62,2
	Abono verde	1538	24,7	831	18,4
Aportación total		6218	100	4519	100
Aportación media		1555		1130	
Pérdida por mineralización		1684		1684	
Balance		-129		-554	
Aportaciones/Pérdidas		0,92		0,67	

Tabla 27. Balances anuales de materia orgánica en el sistema Integrado 2

Fuente de humus		Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)	Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)
		K: variable		K: constante	
1998					
Externas	Abonos orgánicos	4578	74,6	4578	80,5
	Cepellones	159	2,60	159	2,80
Internas	Restos de cultivo	1401	22,8	949	16,7
	Abono verde	0,0	0,0	0,0	0,0
Aportación total		6138	100	5686	100
Aportación media		1535		1422	
Pérdida por mineralización		990		990	
Balance		545		432	
Aportaciones/Pérdidas		1,55		1,44	
1999					
Externas	Abonos orgánicos	1526	15,2	1526	20,2
	Cepellones	268	2,70	268	3,60
Internas	Restos de cultivo	5203	51,8	3703	49,0
	Abono verde	3051	30,4	2059	27,3
Aportación total		10047	100	7557	100
Aportación media		2512		1889	
Pérdida por mineralización		2137		2137	
Balance		375		-248	
Aportaciones/Pérdidas		1,18		0,88	
2000					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	268	3,90	268	5,60
Internas	Restos de cultivo	4792	69,0	3521	73,3
	Abono verde	1881	27,1	1016	21,1
Aportación total		6942	100	4805	100
Aportación media		1735		1201	
Pérdida por mineralización		2063		2063	
Balance		-328		-862	
Aportaciones/Pérdidas		0,84		0,58	

Tabla 28. Balances anuales de materia orgánica en el sistema Integrado 3

Fuente de humus		Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)	Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Externas	Abonos orgánicos	3690	66,1	3690	70,4
	Cepellones	571	10,2	571	10,9
Internas	Restos de cultivo	1325	23,7	984	18,8
	Abono verde	0,0	0,0	0,0	0,0
Aportación total		5585	100	5244	100
Aportación media		1396		1311	
Pérdida por mineralización		578		578	
Balance		818		733	
Aportaciones/Pérdidas		2,42		2,27	
1999					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	1108	12,9	1108	16,9
Internas	Restos de cultivo	7039	82,1	5228	79,6
	Abono verde	423	4,90	228	3,50
Aportación total		8570	100	6564	100
Aportación media		2143		1641	
Pérdida por mineralización		1094		1094	
Balance		1049		547	
Aportaciones/Pérdidas		1,96		1,50	
2000					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	959	11,7	959	15,6
Internas	Restos de cultivo	5460	66,6	4243	68,8
	Abono verde	1783	21,7	963	15,6
Aportación total		8203	100	6166	100
Aportación media		2051		1541	
Pérdida por mineralización		1256		1256	
Balance		795		285	
Aportaciones/Pérdidas		1,63		1,23	

Tabla 29. Balances anuales de materia orgánica en el sistema Ecológico 1

Fuente de humus		Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)	Humus (kg/ha)	Porcentaje (%)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Externas	Abonos orgánicos	3690	65,8	3690	70,1
	Cepellones	571	10,2	571	10,8
Internas	Restos de cultivo	1347	24,0	1003	19,1
	Abono verde	0,0	0,0	0,0	0,0
Aportación total		5608	100	5264	100
Aportación media		1402		1316	
Pérdida por mineralización		610		610	
Balance		792		706	
Aportaciones/Pérdidas		2,30		2,16	
1999					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	1108	13,9	1108	18,1
Internas	Restos de cultivo	6446	80,8	4778	78,1
	Abono verde	427	5,40	231	3,80
Aportación total		7981	100	6116	100
Aportación media		1995		1529	
Pérdida por mineralización		1265		1265	
Balance		730		264	
Aportaciones/Pérdidas		1,58		1,21	
2000					
Externas	Abonos orgánicos	0,0	0,0	0,0	0,0
	Cepellones	959	11,2	959	15,1
Internas	Restos de cultivo	5393	62,8	4198	66,0
	Abono verde	2229	26,0	1204	18,9
Aportación total		8581	100	6361	100
Aportación media		2145		1590	
Pérdida por mineralización		1352		1352	
Balance		793		238	
Aportaciones/Pérdidas		1,59		1,18	

Relación entre el balance y la evolución de la materia orgánica en el suelo

Resulta de gran interés comparar la evolución de la materia orgánica calculada de forma teórica en nuestros balances siguiendo el modelo de Henin-Dupuis, con la evolución real obtenida en función de las determinaciones analíticas realizadas durante el transcurso de la experiencia, para evaluar así el grado de fiabilidad de la información generada. Para ello se han realizado dos aproximaciones teóricas; por un lado, los balances discutidos anteriormente, donde se aplicaron unos coeficientes isohúmicos variables según la fuente de aporte de humus, y por otro lado, los mismos balances calculados con un coeficiente constante para todo tipo de resto vegetal y abono verde, pero manteniendo los mismos coeficientes anteriormente utilizados para las enmiendas orgánicas y la turba aportada con los cepellones. Esto nos va a permitir determinar la importancia o necesidad de considerar o no la naturaleza de los restos vegetales en los resultados globales del balance. En esta aproximación se empleó el coeficiente 0,135 propuesto por Odett (1989), para averiguar la cantidad de humus estable producida a partir de la incorporación de los restos de algunas hortalizas.

Los resultados obtenidos cuando se aplicó un K_1 fijo se han representado en las columnas de la derecha de las Tablas 26, 27, 28 y 29 vistas anteriormente. Como era de esperar se registraron valores más bajos a los de los balances en los que se emplearon diferentes coeficientes, observándose un aumento de la diferencia entre ambos a medida que se iba haciendo más importante la contribución de las fuentes internas de materia orgánica. En el sistema Integrado 2 sucedió incluso que, dependiendo de la modalidad que se escogiera para calcular estos balances, se llegó a invertir el resultado de los mismos. De esta manera, como se puede ver en la

Tabla 30. Comparación de la cantidad de humus producida por las distintas fuentes según los dos modelos de cálculo empleados

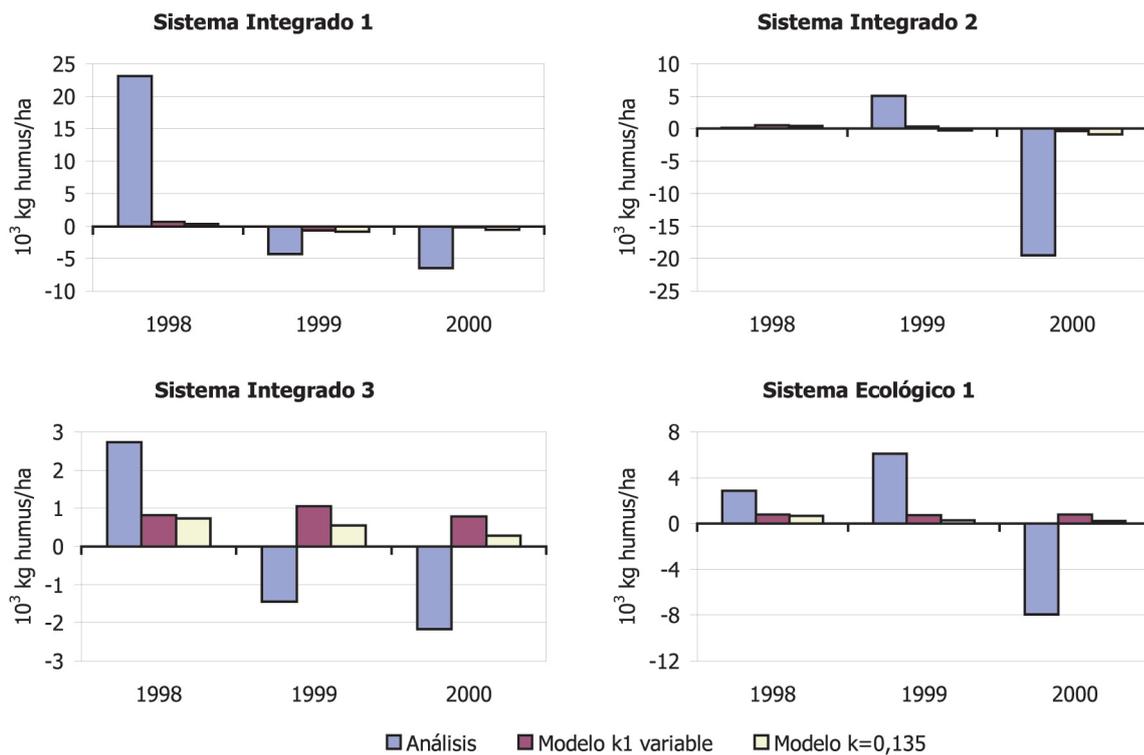
Aportes totales de materia orgánica (kg humus/ha)	K_1 variable	K_1 constante
Sistema Integrado 1		
Abono orgánico	6104	6104
Cepellones	695	695
Restos de cultivo	11396	8166
Abono verde	4932	3075
Total	23127	18040
Sistema Integrado 2		
Abono orgánico	4721	4721
Cepellones	2158	2158
Restos de cultivo	10564	7193
Abono verde	2373	1282
Total	19816	15354
Sistema Integrado 3		
Abono orgánico	3690	3690
Cepellones	2638	2638
Restos de cultivo	13824	10455
Abono verde	2206	1191
Total	22358	17974
Sistema Ecológico 1		
Abono orgánico	3690	3690
Cepellones	2638	2638
Restos de cultivo	13186	9979
Abono verde	2656	1435
Total	22170	17742

Tabla 30, se produjeron reducciones en la cantidad total de humus generada de hasta 5.087 kg/ha ya que el coeficiente constante no tiene en cuenta que los restos con abundantes compuestos fenólicos, como ligninas o taninos, tienen un valor humígeno mayor que los residuos ricos en compuestos alifáticos, como la celulosa y el almidón.

Si se hace una estimación del valor de K_1 constante que podría generar la misma cantidad total de humus que la calculada cuando se emplean diferentes coeficientes en función de los restos y el abono verde, el valor que resulta es de 0,191, y por tanto, el valor constante propuesto por Odett resultó ser demasiado bajo en las condiciones de nuestro trabajo.

En la Figura 13, puede observarse una comparación gráfica de la evolución del contenido de materia orgánica del suelo durante el transcurso de los ensayos, bien determinada mediante análisis del suelo o bien estimada teóricamente tras los cálculos de los balances con los dos modelos comentados anteriormente (K_1 variable y constante).

Figuras 13: Comparación de la evolución de la MO según los análisis de suelo y las modalidades de Henin-Dupuis



Mientras que la evolución observada en los dos modelos teóricos fue bastante similar, se produjeron grandes divergencias, tanto en tendencia como en magnitud, cuando se compararon estos resultados con los correspondientes al análisis químico del suelo. Esta discrepancia de resultados puede atribuirse a diferentes causas: variabilidad espacial en la distribución de la materia

orgánica del suelo, potenciales errores de muestreo y analíticos, humificación incompleta de los aportes que se realizan en un año y cuyos restos no se tienen en cuenta en el balance del año siguiente, etc. Esta última razón podría incluso infraestimar las cantidades de humus producidas anualmente dentro de los resultados de los balances, ya que se está omitiendo como fuente de aporte la fracción de materia orgánica que se va a humificar en los años siguientes de su aplicación. De forma general, parece que el modelo de Henin-Dupuis amortigua los posibles cambios que pueden darse ante los aportes orgánicos que recibe el suelo, por lo que se observa una evolución de la materia orgánica mucho más suave y que no presenta picos tan acusados.

Resultados similares fueron encontrados por Boiffin et al. (1985), en un estudio donde se ensayaron 89 sistemas, supuestamente en estado de equilibrio orgánico y que abarcaban un amplio rango de tipos de suelos. Cuando se compararon los valores de materia orgánica calculados con el modelo de Henin-Dupuis con los observados en los análisis, se constató que los resultados estaban correlacionados, aunque los hallados con el balance eran sistemáticamente más bajos, especialmente si el contenido se expresaba como carbono en lugar de como materia orgánica oxidable. Para explicar las desviaciones y la dispersión residual asociada a la regresión lineal realizada, se manejaron diferentes hipótesis, pero la que pareció más apropiada para dar explicación a las desviaciones fue una sobreestimación del valor del coeficiente de mineralización empleado, mientras que la dispersión residual, pareció deberse fundamentalmente a la influencia de las formas no identificadas de materia orgánica.

Así pues, el modelo de Henin-Dupuis se puede considerar una buena herramienta para calificar el sistema de cultivo desde el punto de vista cualitativo del manejo orgánico, pero sin embargo, dado su carácter monocompartimental, no es suficientemente preciso para predecir los cambios en el contenido de materia orgánica con el tiempo. Por su facilidad de aplicación consideramos, pese a todo, que puede ser una guía útil para una estimación rápida de la gestión de la materia orgánica en una parcela o explotación agrícola, pudiendo complementarse periódicamente con el correspondiente análisis químico de los suelos.

Conclusiones

Del estudio de estos cuatro sistemas de producción basados en los principios de la agricultura ecológica y la producción integrada pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- Las producciones obtenidas fueron bastante satisfactorias ya que, a pesar de que en los sistemas Integrados 1 y 2 no se alcanzó el nivel considerado como producción óptima, los rendimientos que se lograron fueron muy similares a los considerados normales en los sistemas de agricultura convencional. Por el contrario, en los casos de los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1, sí que se consiguieron, como media de los tres años, producciones por encima del objetivo, aunque las producciones ecológicas fueron un 12% inferiores a las integradas.

- En lo que respecta a las extracciones de nutrientes por los cultivos se observó que, en la mayoría de los casos, el elemento que se extrajo en mayor cantidad fue el potasio, seguido del nitrógeno, el fósforo y el magnesio. Se constató que existen algunas especies como la alcachofa, brócoli, coliflor, judía verde, maíz dulce y pimiento, en las que los nutrientes extraídos por las cosechas alcanzaron un valor inferior al 50% de los nutrientes totales absorbidos, por lo que en estos cultivos se considera de crucial importancia la incorporación de los restos para lograr el máximo aprovechamiento de los nutrientes. En el sistema Integrado 1 es donde se extrajo la mayor cantidad de nutrientes, debido fundamentalmente al cultivo del brócoli, una de las especies más extractantes.

- En los balances simplificados de nitrógeno de todos los sistemas se obtuvieron excedentes de nitrógeno en el conjunto de la experiencia, a pesar de que en el sistema Integrado 1 se observó un progresivo descenso de los balances anuales, llegando incluso a dar valores negativos en el año 2000, debido a la aplicación de moderadas dosis de fertilizante y a la elevada cantidad de nitrógeno exportado con las cosechas y los restos no incorporados. Por el contrario, en el resto de sistemas la evolución fue a la inversa, debido principalmente a la contribución del agua de riego como fuente suministradora de nitrógeno, resultando que con su única aportación se superaron las necesidades nutritivas de los cultivos. En el análisis de la evolución de los balances en términos relativos (aportaciones/pérdidas) se observó una reducción progresiva de los mismos en los sistemas Integrados 1 y 3, a diferencia de lo que ocurre en el Ecológico 1.

- Como era de esperar, los balances anuales de fósforo se fueron reduciendo a medida que se iba prescindiendo de las fuentes suministradoras de este nutriente, el abono orgánico y el fertilizante mineral, presentándose valores negativos en todos los sistemas, excepto en el Integrado 2, al final de la experiencia. Pero este déficit no implicó carencias nutritivas para los cultivos ya que los contenidos de fósforo asimilable en el suelo resultaron ser superiores al máximo del intervalo establecido como objetivo, que se considera agronómica y ambientalmente satisfactorio.

- Al igual que con el fósforo, se registraron déficits totales de potasio en todos los sistemas y una reducción progresiva de estos balances con los años, como consecuencia del reducido aporte de fertilizantes y por tratarse del elemento que se extrae en mayor cantidad por los cultivos y que por lo tanto, se exportó en mayor medida del sistema en forma de cosecha y de restos no

incorporados. De nuevo se han presentado contenidos de potasio asimilable en el suelo muy por encima del rango óptimo, por lo que estos balances negativos podrían contribuir a que se vayan reduciendo las reservas de este nutriente en el suelo.

- Con la estrategia de fertilización seguida en los sistemas integrados se logró reducir de forma sustancial las dosis de fertilizantes minerales aplicadas en los diferentes cultivos. En comparación con las dosis usuales en el cultivo convencional, se obtuvieron reducciones entre el 50 y 100% en el caso de fertilizantes nitrogenados y entre el 80 y 100% con los fosforados y potásicos.

- Hay que destacar los excedentes de magnesio tan elevados que se obtuvieron en el conjunto de la experiencia, con unos balances anuales que fueron aumentando durante el transcurso del estudio. La dificultad para lograr una mejora en el balance del magnesio radicó en que la principal fuente de aportación de este nutriente fue el agua de riego, por lo que resultó virtualmente imposible reducir esta contribución, unido a que éste es el elemento que las plantas extraen en menor proporción de los cuatro que se han estudiado.

- La evolución que han seguido los contenidos de fósforo y potasio asimilables en el suelo estuvo, en algunos casos, en consonancia con los resultados de los balances, es decir, que ante la progresiva disminución en los balances anuales las reservas de nutrientes se fueron reduciendo, aproximándose cada vez más al intervalo deseado. Pero esta relación no se ha observado en todos los casos, ya que no hay que olvidar que se realizaron balances simplificados en los que sólo se tuvieron en cuenta algunas de las posibles fuentes de aporte y pérdida de nutrientes, y a que, dado que el suelo es un medio complejo, existen multitud de procesos fisicoquímicos que están interrelacionados entre sí en los distintos compartimentos del suelo y que influyen en la disponibilidad de estos nutrientes.

- Las mayores discrepancias se presentaron en la evolución de los contenidos de magnesio asimilable en el suelo, pues no se observó un incremento significativo de los mismos a pesar de los desmesurados excedentes registrados en los balances. Esto puede ser debido a que se estén perdiendo importantes cantidades de magnesio por lixiviación.

- Los balances anuales de materia orgánica se fueron reduciendo paulatinamente a medida que se dejaron de aplicar enmiendas orgánicas. A pesar de ello, en el sistema Integrado 3 y Ecológico 1 los aportes orgánicos realizados con la incorporación de los restos, el abono verde y los sustratos de las plántulas fueron suficientes para compensar las pérdidas por mineralización en el último año de la experiencia, aspecto de gran interés por tratarse de los sistemas con menor contenido en materia orgánica. Por el contrario, en los otros dos sistemas (los Integrados 1 y 2), se observaron déficits de materia orgánica al finalizar la experiencia.

- En la comparación de la evolución de la materia orgánica calculada con dos modelos teóricos (modelos de Henin-Dupuis con K_1 variable y constante) con los resultados analíticos de las muestras de suelo se observaron grandes divergencias, que se pueden atribuir a diferentes causas: variabilidad del suelo, errores de muestreo y analíticos, variación del coeficiente de mineralización

de la materia orgánica del suelo, humificación incompleta de los aportes que se realizan en un año y cuyos restos no se tienen en cuenta en el balance del año siguiente, etc. Además, parece que el modelo de Henin-Dupuis amortigua los posibles cambios que pueden darse en el suelo ante los aportes orgánicos que recibe el sistema, dando como resultado una evolución de la materia orgánica mucho más suave y donde no se presentan picos tan acusados. Pero, a pesar de ello, dada su facilidad de aplicación consideramos que puede ser un indicador útil para una estimación rápida de la gestión de la materia orgánica en una parcela o explotación agrícola, pudiendo complementarse periódicamente con el correspondiente análisis químico de los suelos.

- El estudio de los balances de nutrientes y de materia orgánica, así como la obtención de las extracciones de los elementos fertilizantes (N, P₂O₅, K₂O y MgO) por las cosechas y los restos de cultivo implantados en los diferentes sistemas de producción permitirán mejorar los programas de fertilización de los cultivos hortícolas en el ámbito de la Comunidad Valenciana y pueden servir de orientación cuando se tienen en cuenta las necesidades nutritivas de las especies en el diseño de una rotación de cultivos.

Bibliografía

- Alexandratos, N. (1995). *World agriculture: Towards 2010*. FAO, Wiley. New Cork. (cit. por Bindraban, 2000).
- Alonso, A., Knickel, K., Parrot, N. (2002). Influencia de los canales comerciales en el desarrollo de la agricultura ecológica en Europa. En: *Actas del V Congreso de la SEAE. I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Tomo II: 1409-1419.
- Anderson, T.H. y Domsch, K.H. (1980). Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, 130: 211-216.
- Antolín, C., Álvarez, D., Carbó, E. (1998). Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Comunidad Valenciana. En: *El suelo como Recurso Natural en la Comunidad Valenciana*. Territori 8, Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte. Generalitat Valenciana, 136-165.
- Anstett, A. et al. (1965). Les exportations de espèces légumières en maraichage de pleine terre. *Bull. Tec. d'Inf.*, 200 : 459-567. (Cit. por: Maroto, 1995).
- Anstett, A. (1967). La fumure de la laitue en fonction des techniques culturales. Journées régionales de la laitue, avril 1967. INVUFLEC, 51-61.
- Arden-Clarke, C. y 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.
- Aubert, C. (1977). *L'agriculture biologique*. Le courrier du livre. Paris.
- Avilla, J. (2000). La producción integrada en Europa. *Fruticultura Profesional*, 122. Especial producción Integrada II.
- Balsa, J. y Montes, C. (1991). La conservación de humedales en zonas semiáridas: Los Monearos. *Quercus*, 64: 36-44. (cit. por Colomer y Sánchez, 2001).
- 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.
- Batal, K.M., Bondari, K., Granberry, D.M., Mullinix, B.G. (1994). Effects of source, rate and frequency of N application on yield, marketable grades and rot incidence of sweet onion (*Allium cepa* L.c.v. Granex-33). *J. Hort. Sci.*, 69: 1043-1051.
- Bello, A., López, J.A., Sanz, R., Escuer, M., Herrero, J. (2000). Biofumigation and organic amendments. En: *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern*

Marta Ribó Herrero

European Countries. UNEP. pp 113-141.

Bindraban, P.S., Stoorvogel, J.J., Cansen, D.M., Vlaming, J., Groot, J.J.R. (2000). Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agric. Ecosys. Environ.*, 81: 103-112.

Boiffin, J., Kéli Zagbahi, J., Sebillotte, M. (1986). Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais: application du modèle de Hénin-Depuis. *Agronomie*, 6 (5) : 437-446.

Bremner, J. (1965). Inorganic forms of nitrogen. En: *Methods of Soil Analysis. Agronomy*, 9. (Ed. C.A.Black). pp 1179-1237.

Brown, B.J., Handson, M.E., Liverman, D.M., Merideth, Jr.R.W. (1987). Global sustainability: toward definition. *Environ.Manage.*, 11(6): 713-719.

Brundtland, G.H. (1987). Our common future. World Commission on Environmental and Development (WCED). Oxford University Press, Oxford, UK.

Campbell, C.A., Zentner, R.P. (1993). Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 121-124.

Carreres, R., González, Tomé, R., Sendra, J., Ballesteros, R., Fernández Valiente, E., Quesada, A., Nieva, M., Leganés, F. (1996). Effect of nitrogen rates on rice growth and biological nitrogen fixation. *J. Agric. Sci.*, 127: 295-302.

Casas, J.J. (1993). Extracción de nutrientes del cultivo de la coliflor en riego a surcos y a goteo. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.

Causeret, J. (1984). Nitrates, nitrites, nitrosamines: apports alimentaires et santé. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, 77: 131-151.

Clark, R.B. (1997). Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant and Soil*, 192: 15-22.

Chaney, R.L. (1980). Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. En: *Sludge-health risks of land application*. (Eds. G.Bitton et al.). pp 59-83.

Chaney, R.L. (1983). Potential effects of waste constituents on the food chain. En: *Land treatment of hazardous wastes*. (Eds. J.F. Parr, P.B. Marsh y J.M. Kla.). pp 152-240.

Chapman, M.D. y Pratt, P.F. (1961). Plant analysis. En : *Methods of analysis for soils, plant and waters*. University of California. *Div. of Agric. Sci.* : 56-64.

- Colomer, J.C. y Sánchez, J. (2001). Agricultura y procesos de degradación del suelo. En: *Agricultura y Desertificación*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 109-131.
- Corbí, J. (1993). Extracción de nutrientes por el cultivo de lechuga en riego localizado y por surcos. Trabajo Fin de Carrera. UPV-EUITA. Valencia.
- Cornillon, P. (1974). Nutritionet fertilisation de la tomate. La tomate. Journées d'Information. INVUFLEC. París. 107-116. (Cit. por: Maroto, 1995).
- Cross, J.V. (1996). The currente status of Integrated Pome Fruit Production in western Europe and its achievements. IOBC/WPRS Bulletin 19(4): 1-10.
- Directiva 80/778/CEE del Consejo, de 15 de Julio de 1980, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DOCE 229/L, de 30-08-80.
- Domínguez, A. (1993). Sanidad vegetal en agricultura ecológica. En: *Documentación de las primeras jornadas de agricultura ecológica*. ADAE.
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P., Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396: 262-265.
- Everaarts, A.P. (1994). Nitrogen fertilization and head rot in broccoli. *Netherlands J. Agric. Sci.*, 42: 195-201.
- FAO (2000). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma.
- FAO (2000). Land and plant nutrition management. Service FAO. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/agll/oldoscl.asp>
- Farré, R. y Frígola, A. (1987). Nitratos: aspectos bromatológicos, toxicológicos y analíticos. *Alimentaria*, XXIV. (179): 15-21.
- Farshad, A. y Zinck, J.A. (1993). Seeking agricultural sustainability. *Agric. Ecosys. Environ.*, 47: 1-12.
- Fersini, A. (1976). Agricultura práctica. (Cit. por: Maroto, 1995)
- Finck, A. (1998). Integrated nutrient management – a comprehensive approach to more efficient plant nutrient use (an overview of principles, problems and possibilities). *Fao Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 12: 67-82.
- Fowler, S.M., Watson, C.A., Filman, D. (1993). N, P and K on organic farms: herbage and cereal production, purchases and sales. *J. Agric. Sci. Camb.*, 120: 353-360.

Marta Ribó Herrero

- Gasser, J.K.R. (1962). Mineralisation of nitrogen, sulphur and phosphorus from soils. *Report Welsh soils discussions*, 3: 26.
- Gimeno, M. (1996). An overview of the latest development of microencapsulation for agricultural products. *J. Environm. Sci. Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*. 31, 3: 407-420.
- 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, A., Pomares, F., Albiach, R., Canet, R., Baixauli, C. (2002). Efectos de la fertilización orgánica en cultivos hortícolas: producción, balance de nutrientes y de materia orgánica. En: *Actas del V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Tomo I: 443-453. Gijón, Septiembre de 2002.
- Gómez de Barreda, D. (1994). Contaminación de herbicidas residuales en aguas de pozo. En: *Actas del Congreso sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas*. Tomo I, 351.
- Goulding, K. (2000). Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil use and management*, 16: 145-151.
- Granstedt, A. (1999a). Case studies on the flow and supply of nitrogen in alternative farming in Sweden. 1. Skilleby farm 1981-1987. *Biol. Agric. Hort.*, 9 : 15-63.
- Granstedt, A. (1992b). 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.*, 6:3: 122-131.
- Gros, A. y Domínguez, A. (1992a). El fósforo. Los abonos fosforados. La fertilización fosfatada. En: *Abonos: guía práctica de la fertilización*. (Ed. Mundi-Prensa). pp 175-187.
- Gros, A. y Domínguez, A. (1992b). El nitrógeno. Los abonos nitrogenados. La fertilización nitrogenada. En: *Abonos: guía práctica de la fertilización*. (Ed. Mundi-Prensa). pp 145-148.
- Gros, A. y Domínguez, A. (1992c). Elementos secundarios y microelementos. En: *Abonos: guía práctica de la fertilización*. (Ed. Mundi-Prensa). pp 229-233.
- Halberg, N., Kristensen, E.S., Kristensen, I.S. (1995). Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. *J. Agric. Environ. Ethics*, 8: 30-51.
- Halweil, B. (2001). El auge de la agricultura biológica. En: *Revista Worldwatch*: 16-22.

- Hamblin, A. (1995). The concept of agricultural sustainability. En: *Advances in plant pathology*, vol. 11: 1-19. (Eds. J.H. Andrews y I. Tommerup).
- Haraldsen, T.K., Asdal, A., Grasdalen, C., Nesheim, L., Ugland, T.N. (2000). Nutrient balance and yields during conversion from conventional to organic cropping systems on silt loam and clay soils in Norway. *Biol. Agric. Hort.*, 17 : 229-246.
- Heming, S.D. y Rowell, D.L. (1997). The estimation of losses of potassium and magnesium from chalky soils in southern England: laboratory studies. *Soil Use and Managem.*, 13: 122-129.
- Henin, S. y Dupuis, M. (1945). Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales agronomiques*, 15 : 17-29.
- Herridge, D.F. y Bergersen, F.J. (1988). Symbiotic nitrogen fixation. En: *Advances in nitrogen cycling in agricultural systems*. (Ed. J.R. Wilson). pp 45-65.
- IFPRI. (1994). World food trends and future food security. Food Policy Report, the International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 25 p.
- INFULVEC (Institut nationale pour la vulgarisation des fruits, légumes et champignons) : El pimiento. Economía-producción-comercialización. (1970). (Ed. Acribia Zaragoza). (Cit. por: Maroto, 1995).
- ITGME. (1996-1999). Mapa de contenido en nitrato de las aguas subterráneas en España. Instituto Tecnológico Geominero de España. Ministerio de Medio Ambiente.
- Jacob, A. y Von Uesküll, H. (1973). Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. (Eds. Euroamericanas) (4ª ed.).
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of “young” soil organic matter. *Plant and soil*, 76: 297-304.
- Jenkinson, D.S. y Rayner, J.H. (1977). The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*, 123 (5): 298-305.
- Johnston, A.E. y Goulding, K.W.T. (1990). The use of plant and soil analyses to predict the potassium supplying capacity of soil. En: *Development of K-fertilizer Recommendation*. International Potash Research Institute. Berne: 177-204.
- Juergens-Gschwind, S. (1989). Ground water nitrates in other developed countries (Europe)–relationships to land use patterns. En: *Nitrogen management and ground water protection. Development in agricultural and managed forest ecology*. 21: 75-138. (Ed. R.F. Follet).

Marta Ribó Herrero

- Juste, C., Tauzin, J., Dureau, P., 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. y Koepf, H. (1989). A case study of the nutrient regime in sustainable farming. *Biol. Agric. Hort.*, 6: 89-106.
- King, L.D. (1990). Soil nutrient management. En: *Sustainable agricultural systems*. (Eds. Edwards, C.A., Lal, R., Madden, P., Miller, R.H., House, G.). pp. 89-106.
- Knott, J.E. (1962). Handbook for vegetable growers. J.Wiley & Sons Inc. (Rev.pr.). Nueva York-Londres-Sidney.
- Kofoed, A. Dam. (1978). The potassium cycle in cropping systems. En: *Potassium research – Review and trends. Proceedings 11th Congress International Potash Institute*. pp 435-449.
- Kolenbrander, G. (1981). Mineralisation of nitrogen as influenced by decomposition rate of soil organic matter. Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. *Dev. on plant and Soil Sci.*, vol. 2: 380-383.
- Körschens, M., Weigel, A., Schulz, E. (1998). Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances –tools for evaluating sustainable productivity of soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 161: 409-424.
- Kosmas, C.; Danalatos, N.; Cammeraat, L.H.; Chabart, M.; Diamantopoulos, J.; Farand, R.; Gutierrez, L.; Jacob, A.; Marques, H.; Martínez-Fernández, J.; Mizara, A.; Moustakas, N.; Nicolau, J.M.; Oliveros, C.; Pinna, G.; Puddu, R.; Puigdefábregas, J.; Roxo, M.; Simao, A.; Stamou, G.; Tomasi, N.; Usai, D.; Vacca, A. (1997). The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 29: 45-59.
- Kurle, J.E. y Pflieger, F.L. (1996). Management influences on arbuscular mycorrhizal fungal species composition in a corn-soybean rotation. *Agron. J.*, 88: 155-161.
- Labrador, J. (1996). Origen y constituyentes de la materia orgánica. En: *La materia orgánica en los agrosistemas*. (Eds. Mundi-Prensa). pp. 19-28.
- Labrador, J. (1996). La materia orgánica y su interés agronómico. En: *La materia orgánica en los agrosistemas*. (Eds. Mundi-Prensa). pp. 67-86.
- Labrador, J. (1996). Mantenimiento de la materia orgánica en los agrosistemas. En: *La materia orgánica en los agrosistemas*. (Eds. Mundi-Prensa). pp. 87-146.
- Labrador, J. y Guibertau, A. (1990). La agricultura ecológica. Hoja divulgadora Num. 11/90 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Lampkin, N. (1998). La nutrición de los cultivos. En: *Agricultura ecológica*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 51-83.
- Legaz, F. y Primo-Millo, E. (1992). Influencia de la fertilización nitrogenada en la contaminación de las aguas subterráneas. *Levante Agric.* 1º trimestre. 4-14.
- Loomis, R.S. y Connor, D.J. (2002). Procesos del nitrógeno. En: *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 215-248.
- Loomis, R.S. y Connor, D.J. (2002). Manejo del suelo. En: *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 351-385.
- Lorenz, O.A. y Maynard, D.N. (1980). Knott's Handbook for Vegetable Grower. Willey, Toronto.
- MAFF (1994). Fertilizer recommendations for agricultural and horticultural crops. Reference Book 209 6th Edition. London: HMSO.
- Magnífico, V., Lattanzio, V., Sarli, G. (1979). Growth and nutrient removal by brócoli. *J. Amer. Hort. Sci.*, 104 (2): 201-203.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus raíces y/o tubérculos de desarrollo más o menos subterráneo: Apio. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 59-62.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus bulbos: Cebolla. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 123-143.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus inflorescencias: Alcachofa. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 315-330.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus inflorescencias: Coliflor. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 331-349.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus frutos: Tomate. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 355-399.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus frutos: Pimiento. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 400-419.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus frutos y/o semillas: Judías verdes. En: *Horticultura Herbácea Especial*. pp 549-566.
- Maroto, J.V. (1995). Hortalizas aprovechables por sus hojas: Hinojo. En: *Horticultura Herbácea*

Marta Ribó Herrero

Especial. pp 299-301.

Martínez, M.A., Lacasa, A., Guerrero, M.M., Ros, C., Guirao, P., Martínez, M.C., Barceló, N., Oncina, M., Bello, A. (2002). Desinfección del suelo mediante biofumigación con solarización en cultivos ecológicos de pimiento de invernadero. En: *Actas del V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. 1015-1020. Gijón: 16-21 Septiembre.

MAPA (1986). Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III (Plantas, productos orgánicos fertilizantes, suelos, aguas, productos fitosanitarios, fertilizantes inorgánicos). Madrid.

Meek, B.D., Carter, D.L., Westermann, D.T., Wright, J.L., Peckenpaugh, R.E. (1995). Nitrate leaching under furrow irrigation as affected by crop sequence and tillage. *Soil Sci. Am. J.*, 59: 204-210.

Millar, C.H. (1979). Relationships between Growth of Bell Peppers (*C. annum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104 (6) : 852-857.

Monnier, G. (1989). Le statut organique des sols : indicateur et facteur de fertilité. *Cultivar*, 254 : 20-21.

MOPT. (1992). Medio Ambiente en España, 1991. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente.

National Research Council. (1989). Alternative agriculture. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. Board on Agriculture National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C.

Navarro, S. y Navarro, G. (2000). El nitrógeno en la planta. En: *Química agrícola*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 165-183.

Neeteson, J.J., y Cartoon, O.T. (2000). The environmental impact of nitrogen in field vegetable production. En: *Proceedings of ISHS/ENVEG conference 1999. Acta Hort.*, 563: 21-28.

Nolte, C. y Werner, W. (1994). Investigations 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., Sticher, H. (1996). Microbiological transformations in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biol. Fertil. Soil*, 21 : 138-148.

Odet, J. (1989). Memento fertilisation des cultures légumières. CTIFL. París.

Owens, L.B., Edwards, W.N., Van Keuren, R.W. (1994). Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass-legume pastures. *J. Environ. Qual.*, 23: 752-758.

- Paul, E.A. y Clark, F.E. (1996). *Soil microbiology and biochemistry*. (San Diego, Academic Press) (2.^a ed.).
- Pomares, F., Tarazona, F., Estela, M., Bartual, R., Arcinaga, L. (1995). Response of globe artichoke to nitrogen, phosphorous and potassium fertilizer. *Agrochimica*, 37: 111-121.
- Pomares, F., Tarazona, F., Estela, M., Chaves, C., Baixauli, C, Aguilar, J.M., Giner, A. (2002). Efecto de diferentes tipos de fertilización (orgánica, mineral y organo-mineral) en una rotación de cultivos hortícolas. En: *Memoria de actividades de la Fundación CajaRural de Valencia*.
- Pomares, F. y Albiach, M^a.R. (2003). Conservación de la fertilidad del suelo en hortalizas ecológicas. <http://www.infoagro.com>
- Pomares, F. (2003). Extracciones del maíz dulce y la lechuga Little gem. Datos no publicados.
- Poudel, D.D., Horwath, W.R., Mitchell, J.P., Temple, S.R. (2001). Impacts of cropping systems on soil nitrogen, storage and loss. *Agric. Systems*, 68 : 253-268.
- Prats, J. (1970). *La fertilisation raisonnée*. (Eds. Ministère de l'agriculture) (2.^a ed.). (Cit. por: Maroto, 1995).
- Quesada, F.M., Castilla, N., 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. En: *Actas del I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas*, Vol. 1: 372-377. Lisboa.
- Rahn, C.R., Paterson, C.D., Vaidyanathan, L.V.V. (1993). Improving the use of nitrogen in brassica rotations. *Acta Horticult.*, 339: 207-218. Workshop on the ecological aspects of vegetable fertilization in integrated crop production in the field. Einsiedeln, Switzerland, Septiembre. 1992.
- Rahn, C.R., Paterson, C.D., Vaidyanathan, L.V.V.(1998). The use of measurements of soil mineral N in understanding the response of crops to fertilizer nitrogen in intensive cropping rotations. *J. Agric. Sci.*, 130: 345-356.
- Real Decreto 759/88 de 15 de julio de 1988 en el que se incluyen los productos agroalimentarios obtenidos sin el empleo de productos químicos de síntesis en el régimen de Denominaciones de Origen, Genéricas y Específicas establecido por Ley 25/70, de 2 de diciembre. (BOE 21/07/88).
- Real Decreto 1852/93 de 22 de octubre de 1993 por el que se regula la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimentarios. (BOE 26/11/93).
- Real Decreto 1201/02 de 20 de noviembre de 2002 por el que se regula la producción integrada de

Marta Ribó Herrero

productos agrícolas. (BOE 30/11/02).

Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo de 24 de junio de 1991 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. (DOCE L 198 de 22.7.1991 1-39).

Reglamento (CEE) 1535/92 del Consejo de 15 de junio de 1992 que modifica los anexos I y III del Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. (DOCE L 208 de 24.7.1992).

Reglamento (CEE) 1804/99 del Consejo de 19 de julio de 1999 que completa, para la producción animal, el Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. (DOCE L 222 de 24.8.1999).

Reglamento (CEE) 331/00 del Consejo de 17 de diciembre de 1999 que modifica el anexo V del reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios relativo (DO L 48 de 19.2.2000).

Rennie, R.J., Kemp, G.A. (1983). N_2 -fixation in field beans quantified by ^{15}N isotope dilution. I. Effect of strains of *Rhizobium phaseoli*. *Agron. J.*, 75: 640-644.

Rincón, L., Balsalobre, E., Sáez, J., Madrid, R. (1991). Extracción de macronutrientes en cultivo de lechuga Iceberg. En: *Actas del II Congreso Nacional de Fertirrigación*. 213-220. Almería. FIAPA-SECH.

Saña, J., More, J.C., Cochí, A. (1996). La gestión de la fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Scaife, M.A. y Wurr, D.C.E. (1990). Effects of nitrogen and irrigation on hollow stem of cauliflower (*Brassica oleracea* var *Botrytis*). *J. Hor. Sci.*, 65: 25-29.

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 1992 Gottingen: 131-134.

Scherer, H.W. (1993). Dynamics and availability of the non-exchangeable $N-NH_4^-$ –a review. *European J. Agron.*, 2: 149-160.

Sempere, A., Oliver, J., Ramos, C. (1993). Simple determination of nitrate in soils by second-derivate spectroscopy. *J. Soil Sci.*, 44: 633-639.

Sharpe, R.R., Harper, L.A., Giddens, J.E., Langdale, G.W. (1988). Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation tilled wheat. *Soil Sci. Am. J.*, 62: 1394-1398.

- Shelp, B. y Liu, L. (1992). Nutrient uptake by field-grown broccoli and net nutrient mobilization during inflorescence development. *Plant and soil*, 140: 151-155.
- Sinha, M.K., Sinha, D.P., Sinha, H. (1977). Organic matter transformations in soils (V): kinetics of carbon and nitrogen mineralization in soils amended with different organic materials. *Plant and Soil*, 46: 579-590.
- Smaling, E.M.A., Stoorvogel, J.J., Jansen, D.M. (1993). Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. *II District scale. Fertil. Res.*, 35: 237-250.
- Smeck, N.E. (1985). Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma*, 36: 185-199.
- Stanhill, G. (1990). The comparative productivity of organic agriculture. *Agric. Ecosys. Environ.*, 30: 1-26.
- Stockdale, E.A. (2001). Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Adv. In Agron.*, 70: 261-327.
- Syers, J.K. (1998). Soil and plant potassium in agriculture. En: *Proceedings – Fertiliser Society* No. 411. Fertiliser Society, York. 32 p.
- Tames, C. (1975). Equilibrio del humus en los suelos cultivados. Fertilizantes Nitrogenados Nacionales. Bol. Informativo, 52 (1): 1- 8. (Cit. por: Saña, 1996).
- Tarazona, F., Bresó, M., Pomares, F., Giner, J. (1992). Extracción de macronutrientes por dos variedades de patata en riego por goteo. *Acta Hortíc.*, 20: 1030-1037.
- Tate, K.R. (1985). Soil phosphorus. En: *Soil Organic Matter and biological Activity*. (Eds. D. Vaughan y R.E. Malcom). pp 329-377.
- Thorup-Kristensen, K. (2002). Utilising differences in rooting depth to design vegetable crop rotations with high nitrogen use efficiency (NUE). *Acta Hortíc.*, 571: 249-254.
- Urbano Terrón, P. (1992). Control de la materia orgánica de los suelos cultivados. En: *Tratado de fitotecnia general*. (Eds. Mundi-Prensa)(2.^a ed.). pp 345-388.
- Urbano Terrón, P. (1998). Fertilidad y ciclos de nutrientes en el suelo. En: *Agricultura sostenible*. (Eds. Mundi-Prensa). pp 145-172.
- Van Bol, V., Want, D., 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. En: *Proceedings of the Third ENOF workshop*. 6-13. Ancona: 5-6 June 1997.

Marta Ribó Herrero

- Van Veen, J.A. y Paul, E.A. (1981). Organic carbon dynamics in grassland soils (I): Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.* 61 (2): 185-201.
- Vereijken, P. (1994). Designing prototypes. Progress reports of research network on integrated and ecological arable farming systems for EU and associated countries (concerted action AIR 3-CT927705). AB-DLO, Wageningen, 87 pp.
- VEGINECO, Final Report. (2002). (EU Fair Program).
- Wander, M.M., Traina, S.J., Stinner, B.R., Peters, S.E. (1994). Organic and conventional management effects on biologically active organic matter pools. *Soil Sci. Am. J.*, 58: 1130-1139.
- Watson, C.A., Stopes, C., Philipps, L. (1997). Nitrogen cycling in organically managed crop rotations: importance of rotation design. Resource use in organic farming. En: *Proceedings of the Third ENOF workshop*. 61-68. Ancona: 5-6 June 1997.
- Weiss, K. (1988). Vergleichende Bodenuntersuchungen in alternativ und konventionell bewirtschafteten Betrieben. *Lebendige Erde*, 3/88: 146-158. (Cit. por: Lampkin, 1998).
- Whitehead, D.C. (1995). Grassland nitrogen. C.A.B. International. Wallingford.
- WRI-IIED-UNEP. (1988). World resources 1988-89. An assessment of the resource base that supports the global economy. Basic Books, New York. (Cit. por: Colomer y Sánchez, 2001).
- WRR. (1995). Sustained risks: a lasting phenomenon. Netherlands Scientific Council for Government Policy. Reports to the government, 44. (Cit. por: Bindraban, 2000).
- Yélamos, J.A., Castillo, P., Diáñez, F., Villaescusa, J., Santos, M., Chebâani, M., Blanco, R., Lacasa, A., Tello, J.C. (2002). Efectos del bromuro de metilo y la biofumigación con solarización sobre la microbiota fúngica, actinomicética y bacteriana de suelos cultivados con pimiento en Murcia. En: *Actas del V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. 1023-1027. Gijón: 16-21 Septiembre.
- Ylaranta, T., Uusi-Kamppa, J., Jaakkola, A. (1996). Leaching of phosphorus, calcium, magnesium and potassium in barley, grass and fallow lysimeters. *Acta agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 46: 9-17.
- Zhou, X., Mackenzie, A.F., Madramootoo, C.A., Kaluli, J.W., Smith, D.L. (1997). Management practices to conserve soil nitrate in maize production systems. *J. Environ. Qual.*, 26: 1369-1374.

Anejos

Análisis de las aguas de riego

En la siguiente tabla se recogen los resultados de los análisis de las aguas utilizadas en el riego de los sistemas estudiados.

Tabla A. Características analíticas de las aguas de riego empleadas

	Sistema Integrado 1	Sistema Integrado 2	Sistemas Integrado 3 y Ecológico 1
pH	8,10	7,53	7,75
Conductividad (dS ·m ⁻¹)	1,09	1,32	2,46
Cloruros (mg/L)	83,5	88,0	212
Sulfatos (mg/L)	29,2	20,9	89,8
Nitratos (mg/L)	7,31	231	406
Bicarbonatos (mg/L)	28,4	29,0	24,7
Calcio (mg/L)	120	192	282
Magnesio (mg/L)	29,6	49,0	130
Sodio (mg/L)	70,0	35,0	110
Potasio (mg/L)	3,70	1,30	3,20

Análisis de las enmiendas orgánicas

En la siguiente tabla se recogen los análisis efectuados a las diferentes enmiendas orgánicas aplicadas en los sistemas de Integrados 1 y 2.

En los sistemas Integrado 3 y Ecológico 1 no fue posible conseguir muestra del abono orgánico aplicado, por lo que se tomaron valores estándar.

Tabla B. Resultados de los análisis de los abonos orgánicos aplicados en los sistemas Integrados 1 y 2

	Sistema	Aportación t/ha	Materia seca %	MO total %	N _{org} %	N _{org} g/kg m.s.	P %	P ₂ O ₅ g/kg m.s.	K %	K ₂ O g/kg m.s.	Mg %	MgO g/kg m.s.
Compost 20%	Integrado 1	4	58,7	70,8	2,03	20,25	1,46	14,64	0,25	3,02	0,37	6,09
Compost 80%	Integrado 1	16	62,5	77,8	2,08	20,83	0,78	7,81	1	12,08	0,7	11,65
Estiércol 100%	Integrado 2	30	56,6	71,9	1,73	17,31	0,51	5,08	1,67	20,06	0,47	7,83

Extracción de nutrientes por los cultivos

Se ha calculado la cantidad de N, P₂O₅, K₂O y MgO extraídas por tonelada de producción de los diferentes cultivos y de los restos.

Tabla C. Extracción de nutrientes por los cultivos

Cultivos	Elementos extraídos (kg/t) cosecha				Elementos extraídos (kg/t) restos de cultivo				Elementos extraídos (kg/t) total			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Alcachofa	3,25	1,63	6,30	0,60	2,69	1,20	5,06	0,57	5,94	2,83	11,37	1,17
	4,00	1,82	5,58	0,42	4,13	0,87	4,68	1,82	8,13	2,69	10,26	2,24
	2,84	1,27	5,22	0,47	2,92	0,68	5,50	1,02	5,76	1,95	10,72	1,49
	3,80	1,03	3,40	0,57	2,99	0,59	4,23	0,62	6,79	1,62	7,63	1,19
	2,86	1,15	4,48	0,46	1,96	0,37	4,80	0,48	4,82	1,52	9,28	0,94
	3,65	0,99	3,26	0,59	2,45	0,39	3,11	0,51	6,10	1,38	6,37	1,10
Apio	1,12	0,87	3,14	0,26	1,94	1,44	3,97	0,66	3,06	2,31	7,11	0,92
	1,15	0,85	1,16	0,40	--	--	--	--	1,15	0,85	1,16	0,40
Brócoli	3,80	1,45	3,93	0,31	2,81	1,06	4,70	0,72	6,62	2,51	8,63	1,03
	3,82	1,45	4,55	0,31	2,81	1,06	4,71	0,72	6,63	2,51	9,25	1,03
	4,16	1,67	3,72	0,30	3,39	1,14	5,47	0,74	7,55	2,81	9,19	1,04
Cebolla	1,37	0,86	1,81	0,24	1,88	0,33	4,80	0,83	3,25	1,19	6,61	1,07
	1,36	0,57	1,36	0,24	1,59	0,55	3,92	0,69	2,95	1,12	5,28	0,93
	1,59	0,86	1,89	0,29	1,15	1,21	3,42	0,89	2,74	2,07	5,31	1,19
	1,20	0,56	1,68	0,15	2,65	0,90	5,02	0,85	3,85	1,46	6,70	0,99
	1,26	0,55	2,06	0,45	1,28	1,04	2,66	0,71	2,54	1,59	4,72	1,16
	--	--	--	--	2,55	0,70	2,63	0,35	2,55	0,70	2,63	0,35
	1,18	0,59	1,51	0,17	1,64	0,36	3,34	0,46	2,82	0,94	4,86	0,63
Coliflor	2,70	0,56	7,25	0,21	2,56	0,88	2,63	0,22	5,26	1,44	9,88	0,43
	3,10	3,05	3,98	0,23	2,05	0,70	3,51	0,17	5,15	3,75	7,49	0,40
	1,76	0,91	3,86	0,22	3,05	0,70	4,89	0,52	4,81	1,61	8,75	0,74
	2,49	0,83	3,92	0,58	2,61	0,62	2,04	0,49	5,10	1,45	5,96	1,08
	2,09	0,80	3,93	0,20	4,00	0,90	4,40	1,20	6,09	1,70	8,33	1,40
	2,39	0,92	3,99	0,23	3,30	0,81	4,57	0,59	5,68	1,73	8,56	0,82
	2,14	0,73	4,29	0,19	2,82	0,60	2,51	0,53	4,96	1,33	6,80	0,72
	2,10	0,70	2,90	0,10	4,00	1,00	4,10	1,20	6,10	1,70	7,00	1,30

Tabla C. Extracción de nutrientes por los cultivos (continuación)

Cultivos	Elementos extraídos (kg/t)			Elementos extraídos (kg/t)			Elementos extraídos (kg/t)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Hinojo	1,67	0,56	3,72	0,28	2,80	0,54	5,75	0,61	4,48	1,10	9,47	0,88
	1,65	0,55	4,29	0,27	2,77	0,54	5,69	0,60	4,42	1,09	9,98	0,87
	1,29	0,78	2,23	0,19	2,36	0,60	3,80	0,65	3,65	1,37	6,03	0,84
	1,65	0,57	3,27	0,31	3,32	0,66	6,20	0,68	4,97	1,23	9,46	0,99
	1,76	0,61	4,02	0,36	3,31	0,67	6,20	0,69	5,07	1,27	10,22	1,04
	1,69	0,67	2,54	0,30	2,59	0,66	4,08	0,61	4,28	1,33	6,62	0,91
Judía verde	2,76	1,11	4,09	0,44	4,65	1,67	3,19	1,13	7,40	2,78	7,28	1,58
	2,68	1,37	6,22	0,41	4,13	1,40	2,91	0,96	6,81	2,77	9,13	1,37
	5,04	1,53	5,04	0,86	4,64	1,20	4,75	0,99	9,68	2,73	9,79	1,85
	2,51	0,78	2,70	0,42	3,16	0,83	4,42	0,74	5,67	1,61	7,12	1,16
	4,09	1,14	4,32	0,69	3,64	0,84	3,84	0,61	7,72	1,98	8,16	1,30
	2,82	0,72	3,87	0,32	3,29	0,84	4,21	0,69	6,11	1,56	8,07	1,01
Iceberg	1,05	0,69	4,86	0,23	2,02	1,33	5,33	0,94	3,07	2,02	10,19	1,17
	--	--	--	--	1,36	0,43	4,52	0,27	1,36	0,43	4,52	0,27
Little gem.	1,10	0,62	2,99	0,30	1,33	0,67	3,33	0,33	2,43	1,29	6,32	0,63
	1,59	0,73	4,78	0,35	--	--	--	--	1,59	0,73	4,78	0,35
	1,03	0,46	3,27	0,25	4,68	0,82	6,23	1,50	5,71	1,28	9,50	1,75
	1,02	0,40	2,37	0,14	--	--	--	--	1,02	0,40	2,37	0,14
	1,09	0,52	2,10	0,27	--	--	--	--	1,09	0,52	2,10	0,27
Romana	1,22	0,62	4,04	0,41	--	--	--	--	1,22	0,62	4,04	0,41
	--	--	--	--	1,08	0,64	2,96	0,28	1,08	0,64	2,96	0,28
	2,19	0,40	2,96	0,18	--	--	--	--	2,19	0,40	2,96	0,18
	1,62	0,68	2,62	0,22	1,53	0,48	2,00	0,24	3,15	1,16	4,62	0,46
	1,58	0,69	2,19	0,20	--	--	--	--	1,58	0,69	2,19	0,20
	1,29	0,39	3,43	0,65	1,29	0,47	3,41	0,26	2,58	0,86	6,84	0,91
	2,06	1,14	4,84	0,27	1,80	0,49	3,94	0,32	3,86	1,63	8,79	0,59

Tabla C. Extracciones de nutrientes por los cultivos (continuación)

Cultivos	Elementos extraídos (kg/t)					Elementos extraídos (kg/t)					Elementos extraídos (kg/t)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
Romana	2,65	0,82	5,54	0,43		1,80	0,82	3,25	0,29		4,46	1,63	8,79	0,72	
	--	--	--	--		1,71	0,64	3,81	0,30		1,71	0,64	3,81	0,30	
	1,28	0,47	3,50	0,26		1,27	0,47	3,43	0,26		2,55	0,95	6,94	0,53	
	2,06	0,54	4,94	0,40		2,05	0,54	4,93	0,40		4,11	1,08	9,87	0,80	
	--	--	--	--		1,18	0,63	2,25	0,20		1,18	0,63	2,25	0,20	
	--	--	--	--		1,83	0,60	4,69	0,37		1,83	0,60	4,69	0,37	
Maíz dulce	4,03	1,79	3,24	0,53		2,42	1,42	5,39	0,58		6,45	3,21	8,63	1,11	
	3,38	1,34	2,61	0,39		2,49	1,03	5,47	0,97		5,87	2,37	8,07	1,36	
	3,32	1,27	2,39	0,39		2,92	1,34	3,84	0,52		6,24	2,61	6,23	0,91	
Patata	2,48	0,97	6,21	0,37		2,50	0,39	5,02	1,41		4,98	1,36	11,23	1,78	
	2,97	0,68	4,07	0,37		--	--	--	--		2,97	0,68	4,07	0,37	
	2,71	0,91	6,27	0,43		2,45	0,36	4,09	1,19		5,15	1,27	10,36	1,62	
	3,06	0,68	3,72	0,42		--	--	--	--		3,06	0,68	3,72	0,42	
Pimiento	1,78	0,74	2,92	0,40		4,19	1,49	5,84	1,87		5,98	2,23	8,76	2,27	
	1,72	0,65	1,67	0,19		3,41	0,95	5,53	1,75		5,12	1,61	7,21	1,95	
	1,78	0,59	1,19	0,21		3,76	1,10	3,89	2,17		5,54	1,69	5,08	2,38	

Tabla C. Extracción de nutrientes por los cultivos (continuación)

Cultivos	Elementos extraídos (kg/t)				Elementos extraídos (kg/t)				Elementos extraídos (kg/t)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Sandía	1,57	0,74	3,12	0,29	4,50	2,54	8,01	3,58	6,07	3,28	11,13	3,87
	1,39	0,66	3,56	0,25	1,62	0,65	2,33	0,96	3,01	1,30	5,89	1,20
	1,18	0,82	1,29	0,26	1,57	1,23	3,99	0,52	2,74	2,05	5,28	0,78
	1,39	0,61	3,64	0,19	3,30	1,30	3,90	0,88	4,70	1,91	7,54	1,07
	1,46	0,60	4,29	0,23	1,81	0,44	1,82	0,38	3,27	1,04	6,12	0,61
	1,92	0,86	1,88	0,26	3,20	1,12	4,43	0,49	5,12	1,98	6,31	0,75
	1,42	0,43	2,86	0,24	2,31	0,65	2,68	0,98	3,73	1,08	5,54	1,21
	1,51	0,39	2,48	0,30	1,74	0,51	1,56	0,59	3,26	0,91	4,04	0,88
	1,64	0,41	1,45	0,29	2,06	0,58	1,97	0,83	3,70	0,99	3,43	1,12
	1,56	0,50	3,21	0,26	2,92	0,63	3,66	1,70	4,48	1,13	6,86	1,96
	1,41	0,39	1,79	0,25	2,21	0,62	4,97	0,76	3,62	1,01	6,76	1,02
	1,81	0,84	1,06	2,06	2,41	0,48	2,51	0,77	4,22	1,32	3,57	2,83
Tomate	1,83	0,74	2,79	0,16	3,22	1,85	4,89	1,08	5,05	2,59	7,68	1,24
	1,43	0,50	2,94	0,15	3,20	1,39	3,46	0,90	4,63	1,90	6,39	1,05
	1,62	0,77	3,01	0,55	3,00	1,23	4,06	0,86	4,62	2,01	7,07	1,41

Balances desarrollados de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio

Desde la Tabla D a la G se presentan, para cada sistema y cada elemento, las aportaciones y exportaciones de cada cultivo.

En las aportaciones se tiene en cuenta las realizadas con las enmiendas orgánicas, el abono mineral y el agua de riego. En las exportaciones se incluyen las extracciones de la producción y de

Tabla D. Balance desarrollado de nitrógeno en el sistema Integrado 1

Cultivos	Aportes de N (kg / ha)				Exportaciones de N (kg / ha)			N excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	--	148	1,70	150	150	--	150	-0,30
Pimiento	--	118	4,10	122	70,3	130	200	-78,0
Cebolla	--	45,0	1,50	46,5	51,2	--	51,2	-4,70
Maíz dulce	--	36,0	1,50	37,5	76,6	--	76,6	-39,1
Little gem	300	67,0	0,30	367	35,2	--	35,2	332
Brócoli	300	242	2,50	545	54,0	210	264	281
Promedio				317			194	123
1999								
Little gem 1	--	49,0	0,50	49,5	39,9	--	39,9	9,60
Iceberg	--	95,0	1,80	96,8	18,4	--	18,4	78,4
Veza-avena	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Cebolla	--	47,0	4,50	51,5	77,0	70,6	148	-96,1
Apio	300	256	2,20	558	81,7	69,0	151	408
Pimiento	--	105	4,10	109	106	94,4	200	-91,3
Maíz dulce	--	54,9	2,00	56,9	65,2	83,1	148	-91,4
Sandía	--	52,6	1,30	53,9	126	63,0	188	-135
Brócoli	--	147	1,80	149	60,7	--	60,7	88,1
Little gem 2	--	34,3	1,00	35,3	36,4	--	36,4	-1,13
Promedio				290			248	42,3
2000								
Little gem 1	--	16,6	1,40	18,0	17,2	--	17,2	0,82
Iceberg	--	80,0	3,70	83,7	0,0	76,5	76,5	7,20
Veza-avena	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Cebolla	--	46,9	8,70	55,6	74,7	53	128	-72
Apio	--	72,4	3,80	76,2	132	0,0	132	-55,8
Pimiento	--	287,0	22,8	310	144	57,3	201	109
Maíz dulce	--	26,9	6,00	32,9	14,6	69,9	84,5	-51,5
Sandía	--	105	8,10	113	56,8	64,8	122	-8,9
Brócoli	--	50,0	7,00	57,0	68,6	226,0	295	-238
Little gem 2	--	11,2	2,20	13,4	35,9	--	35,9	-22,6
Promedio				190			273	-83,0

Tabla E. Balances desarrollados de fósforo en el Sistema Integrado 1

Cultivos	Aportes de P ₂ O ₅ (kg / ha)				Extracciones de P ₂ O ₅ (kg / ha)			P ₂ O ₅ (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	--	93,0		93,0	71,0	--	71,0	22,0
Pimiento	--	167		167	29,0	50,0	79,0	88,0
Cebolla	--	60,0		60,0	32,0	--	32,0	28,0
Maíz dulce	--	50,0		50,0	34,0	--	34,0	16,0
Little gem	103	33,0		136	20,0	--	20,0	116
Brócoli	103	67,0		170	20,6	62,8	83,4	86,6
Promedio				169			79,9	89,2
1999								
Little gem 1	--	38,0		38,0	18,4	--	18,4	19,6
Iceberg	--	29,0		29,0	12,9	--	12,90	16,1
Veza-avena	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Cebolla	--	74,0		74,0	32,0	24,5	56,5	17,5
Apio	103	105		208	63,5	52,4	116	92,1
Pimiento	--	3,77		3,77	40,3	26,3	66,6	-62,9
Maíz dulce	--	12,1		12,1	25,8	40,0	65,8	-53,8
Sandía	--	6,20		6,20	59,4	25,1	84,5	-78,3
Brócoli	--	--		0,0	23,1	--	23,1	-23,1
Little gem 2	--	--		0,0	16,2	--	16,2	-16,2
Promedio				92,8			115	-22,2
2000								
Little gem 1	--	--		0,0	6,70	--	6,70	-6,70
Iceberg	--	--		0,0	--	24,2	24,2	-24,2
Veza-avena	--	--		0,0	--	--	--	0,0
Cebolla	--	--		0,0	40,4	56,2	96,6	-96,6
Apio	--	--		0,0	98,0	--	98,0	-98,0
Pimiento	--	--		0,0	47,8	22,3	70,1	-70,1
Maíz dulce	--	--		0,0	5,60	22,5	28,1	-28,1
Sandía	--	--		0,0	39,6	50,8	90,4	-90,4
Brócoli	--	--		0,0	27,5	70,4	97,9	-97,9
Little gem 2	--	--		0,0	17,1	--	17,1	-17,1
Promedio				0,0			132	-132

Tabla F. Balance desarrollado de potasio en el sistema Integrado 1

Cultivos	Aportes de K ₂ O (kg / ha)				Extracciones de K ₂ O (kg / ha)			K ₂ O excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	--	87,0	12,4	99,4	298	--	298	-199
Pimiento	--	219	29,0	248	109	238	348	-99,7
Cebolla	--	35,0	10,5	45,5	67,8	--	67,8	-22,3
Maíz dulce	--	60,0	10,8	70,8	61,5	--	61,5	9,3
Little gem	27	83,0	2,3	112	96,0	--	96,0	16,3
Brócoli	27	243	18,1	288	55,8	281	337	-48,4
Promedio				216			302	-85,9
1999								
Little gem 1	--	60,0	3,50	63,5	120	--	120	-56,5
Iceberg	--	76,0	13,1	89,1	85,0	--	85,0	4,10
Veza-avena	--	--	--	--	--	--	--	--
Cebolla	--	60,0	32,1	92,1	77,0	175	252,0	-159,9
Apio	27	303	16,0	346	229	--	229	117
Pimiento	--	94,6	29,1	124	103	153	256	-133
Maíz dulce	--	82,1	14,5	96,6	50,3	162	213	-116
Sandía	--	105	9,40	115	322	105	427	-312
Brócoli	--	--	12,7	12,7	72,3	--	72,3	-59,6
Little gem 2	--	--	6,90	6,90	116	--	116	-109
Promedio				236			442	-206
2000								
Little gem 1	--	--	4,40	4,40	39,8	--	39,8	-35,4
Iceberg	--	--	12,0	12,0	--	254	254	-242
Veza-avena	--	--	--	--	--	--	--	--
Cebolla	--	--	28,1	28,1	88,8	159	248	-220
Apio	--	--	12,2	12,2	134	--	134	-121
Pimiento	--	--	73,6	73,6	96,3	60,8	157	-83,5
Maíz dulce	--	--	19,3	19,3	10,5	75,8	86,3	-67,0
Sandía	--	--	26,1	26,1	62,2	165	227	-201
Brócoli	--	--	22,6	22,6	61,4	420	482	-459
Little gem 2	--	--	7,10	7,10	69,0	--	69,0	-61,9
Promedio				51,4			424	-373

Tabla G. Balance desarrollado de magnesio en el sistema Integrado 1

Cultivos	Aportes de MgO (kg / ha)				Extracciones de MgO (kg / ha)			MgO excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	--	--	114	114	27,6	--	27,6	86,1
Pimiento	--	--	266	266	15,6	94,3	110	157
Cebolla	--	--	99,2	99,2	9,00	--	9,00	90,2
Maíz dulce	--	--	96,2	96,2	10,0	--	10,0	86,2
Little gem	78,6	--	21,0	99,6	9,60	--	9,60	90,0
Brócoli	78,6	--	166	245	4,40	48,6	53,0	192
Promedio				230			54,8	175
1999								
Little gem 1	--	--	32,2	32,2	8,90	--	8,90	23,3
Iceberg	--	--	121	121	4,00	--	4,00	117
Veza-avena	--	--	--	--	--	--	--	--
Cebolla	--	--	295	295	13,6	30,6	44,2	251
Apio	78,6	--	147	226	19,3	28,1	47,4	178
Pimiento	--	--	268	268	12,0	48,5	60,5	207
Maíz dulce	--	--	133	133	7,50	20,1	27,6	105
Sandía	--	--	86,7	86,7	22,3	37,3	59,6	27,1
Brócoli	--	--	116	116	5,00	--	5,00	111
Little gem 2	--	--	63,5	63,5	10,3	--	10,3	53,2
Promedio				335			66,9	268
2000								
Little gem 1	--	--	75,1	75,1	2,30	--	2,30	72,8
Iceberg	--	--	200	200	--	15,2	15,2	185
Veza-avena	--	--	--	--	--	--	--	--
Cebolla	--	--	468	468	13,8	41,5	55,3	413
Apio	--	--	204	204	46,0	--	46,0	158
Pimiento	--	--	1227	1227	17,0	23,2	40,2	1187
Maíz dulce	--	--	322	322	1,70	11,2	12,9	309
Sandía	--	--	436	436	12,4	--	12,4	423
Brócoli	--	--	377	377	5,00	53,1	58,1	319
Little gem 2	--	--	119	119	8,80	--	8,80	110
Promedio				857			62,8	794

Tabla H. Balance desarrollado de N en el sistema Integrado 2

Cultivos	Aportes de N (kg / ha)				Extracciones de N (kg / ha)			N excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	333	38	11	382	74,9	--	74,9	307
Tomate	333	116	182	631	106	--	106	525
Lech. Rom	333	51	56	440	74,9	--	74,9	365
Promedio				363			64,1	299
1999								
Coliflor	--	160	95,3	255	58,6	40,2	98,8	157
Alcachofa	333	105	186	625	52,3	--	52,3	572
Cebolla	--	125	151	276	89,6	16,0	106	171
Lech. Rom 1	--	93,3	57,4	151	--	65,9	65,9	84,8
Lech. Rom 2	--	100	81,0	181	75,7	--	75,7	105
Judía	--	73,4	41,2	115	44,1	--	44,1	70,5
Sandía	--	114	80,4	194	78,2	--	78,2	116
Tomate	--	148	124	272	48,6	--	48,6	224
Abono verde	--	--	5,5	5,5	--	--	0,0	5,5
Promedio				519			142	376
2000								
Coliflor	--	289	134	423	70,0	0,0	70,0	353
Alcachofa	--	502	238	740	13,2	0,0	13,2	727
Cebolla	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	80,0	66,2	146	75,7	41,0	117	29,5
Lech. Rom 2	--	60,0	60,0	120	66,6	0,0	66,6	53,4
Judía	--	42,4	73,3	116	23,3	0,0	23,3	92,5
Sandía	--	60,0	103	163	129	0,0	129	33,8
Tomate	--	5,6	49,5	55,1	44,3	0,0	44,3	10,8
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Promedio				441			116	325

Tabla I. Balance desarrollado de fósforo en el Sistema Integrado 2

Cultivos	Aportes de P ₂ O ₅ (kg / ha)				Extracciones de P ₂ O ₅ (kg / ha)			P ₂ O ₅ excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	150	3,6		154	32,7	--	32,7	121
Tomate	150	23,0		173	42,9	--	42,9	130
Lech. Rom	150	6,0		156	38,4	--	38,4	118
Promedio				121			28,5	92,2
1999								
Coliflor	--	16,0		16,0	12,2	9,8	22,0	-6,0
Alcachofa	150	27,7		178	26,2	--	26,2	151
Cebolla	--	50,0		50,0	42,2	4,0	46,1	3,9
Lech. Rom 1	--	--		0,0	--	38,9	38,9	-38,9
Lech. Rom 2	--	--		0,0	13,8	--	13,8	-13,8
Judía	--	17,0		17,0	17,8	--	17,8	-0,8
Sandía	--	--		0,0	32,1	--	32,1	-32,1
Tomate	--	--		0,0	17,1	--	17,1	-17,1
Abono verde	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Promedio				65,2			53,5	11,7
2000								
Coliflor	--	--		0,0	69,0	--	69,0	-69,0
Alcachofa	--	--		0,0	6,0	--	6,0	-6,0
Lech. Rom 1	--	--		0,0	31,8	8,4	40,2	-40,2
Lech. Rom 2	--	--		0,0	11,0	--	11,0	-11,0
Judía	--	--		0,0	11,9	--	11,9	-11,9
Sandía	--	--		0,0	58,2	--	58,2	-58,2
Tomate	--	--		0,0	21,2	--	21,2	-21,2
Abono verde	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Promedio				0,0			54,4	-54,4

Tabla J. Balance desarrollado de potasio en el Sistema Integrado 2

Cultivos	Aportes de K ₂ O (kg / ha)				Extracciones de K ₂ O (kg / ha)			K ₂ O excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	435	--	--	435	196	--	196	239
Tomate	435	--	4,9	440	162	--	162	278
Lech. Rom	435	--	1,5	437	248	--	248	188
Promedio				328			151	176
1999								
Coliflor	--	73,3	16,7	90,0	157	46,8	204	-114
Alcachofa	435	--	44,8	480	102	--	102	378
Cebolla	--	200	36,3	236	126	8,2	134	102
Lech. Rom 1	--	--	13,8	13,8	--	180	180	-166
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	102	--	102	-102
Judía	--	--	9,9	9,9	65,5	--	65,5	-55,7
Sandía	--	--	19,3	19,3	231	--	231	-211
Tomate	--	--	29,8	29,8	99,6	--	99,6	-69,8
Abono verde	--	--	1,3	1,3	--	--	0,0	1,3
Promedio				220			280	-59,5
2000								
Coliflor	--	--	1,7	1,7	89,9	--	89,9	-88,2
Alcachofa	--	--	29,0	29,0	18,4	--	18,4	10,6
Lech. Rom 1	--	--	1,3	1,3	122	50,0	172	-171
Lech. Rom 2	--	--	1,4	1,4	92,2	--	92,2	-90,8
Judía	--	--	1,6	1,6	54,1	--	54,1	-52,5
Sandía	--	--	2,0	2,0	127	--	127	-125
Tomate	--	--	1,2	1,2	82,6	--	82,6	-81,4
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Promedio				9,50			159	-149

Tabla K. Balance desarrollado de magnesio en el Sistema Integrado 2

Cultivos	Aportes de MgO (kg / ha)				Extracciones de MgO (kg / ha)			MgO excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	140	--	115	255	10,2	--	10,2	245
Tomate	140	--	174	314	9,3	--	9,3	305
Lech. Rom	140	--	53,5	194	25,5	--	25,5	168
Promedio				191			11,3	179
1999								
Coliflor	--	--	91,3	91,3	4,6	7,8	12,4	78,9
Alcachofa	140	--	238	378	9,7	--	9,7	368
Cebolla	--	--	193	193	10,9	2,5	13,4	180
Lech. Rom 1	--	--	73,3	73,3	--	17,3	17,3	56,0
Lech. Rom 2	--	--	75,0	75,0	6,2	--	6,2	68,8
Judía	--	--	52,6	52,6	7,1	--	7,1	45,5
Sandía	--	--	103	103	12,4	--	12,4	90,2
Tomate	--	--	159	159	5,1	--	5,1	154
Abono verde	--	--	7,0	7,0	--	--	0,0	7,0
Promedio				283			20,9	262
2000								
Coliflor	--	--	109	109	5,3	--	5,3	104
Alcachofa	--	--	195	195	1,4	--	1,4	193
Lech. Rom 1	--	--	53,9	53,9	10,2	2,2	12,4	41,5
Lech. Rom 2	--	--	50,6	50,6	8,4	--	8,4	42,2
Judía		--	67,0	67,0	3,6	--	3,6	63,4
Sandía	--	--	83,9	83,9	12,6	--	12,6	71,3
Tomate	--	--	40,3	40,3	15,2	--	15,2	25,1
Abono verde	--	--	0,0	0,0	--	--	0,0	0,0
Promedio				150			14,7	135

Tabla L. Balance desarrollado de nitrógeno en el Sistema Integrado 3

Cultivos	Aportes de N (kg / ha)				Extracciones de N (kg / ha)			N excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	202	--	109	311	99,8	--	99,8	211
Lech. Rom 1	202	--	165	367	36,4	--	36,4	331
Lech. Rom 2	--	--	112	112	57,0	--	57,0	55,0
Hinojo	--	--	229	229	45,0	--	45,0	184
Promedio				255			59,6	195
1999								
Coliflor	202	--	365	567	61,8	--	61,8	505
Cebolla	--	--	92,7	92,7	0,0	--	0,0	92,7
Alcachofa	202	--	383	585	54,8	--	54,8	530
Patata	--	--	268	268	141,0	--	141	127
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	259	259	82,0	--	82,0	177
Lech. Rom 2	--	--	171	171	0,0	--	0,0	171
Sandía	--	--	157	157	129,7	--	130	27,6
Hinojo	--	--	220	220	54,7	--	54,7	165
Judía	--	--	168	168	45,9	--	45,9	123
Promedio				622			142	480
2000								
Coliflor	--	--	290	290	75,0	--	75,0	215
Cebolla	--	--	385	385	79,0	--	79,0	306
Alcachofa	--	--	362	362	36,9	--	36,9	325
Patata	--	--	428	428	148	--	148	280
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	279	279	221	--	221	57,8
Hinojo	--	--	342	342	54,7	--	54,7	288
Coliflor		--	311	311	67,2	--	67,2	243
Judía	--	--	336	336	20,8	--	20,8	316
Promedio				683			176	508

Tabla M. Balance desarrollado de fósforo en el Sistema Integrado 3

Cultivos	Aportes de P ₂ O ₅ (kg / ha)				Extracciones de P ₂ O ₅ (kg / ha)			P ₂ O ₅ excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	98,0	--		98,0	30,3	--	30,3	67,7
Lech. Rom 1	98,0	--		98,0	14,0	--	14,0	84,0
Lech. Rom 2	--	--		0,0	31,5	--	31,5	-31,5
Hinojo	--	--		0,0	15,0	--	15,0	-15,0
Promedio				49,0			22,7	26,3
1999								
Coliflor	98,0	--		98,0	31,9	--	31,9	66,1
Cebolla ⁽⁴⁾	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Alcachofa	98,0	--		98,0	24,6	--	24,6	73,4
Patata	--	--		0,0	55,1	--	55,1	-55,1
Abono verde	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--		0,0	25,2	--	25,2	-25,2
Lech. Rom 2	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Sandía	--	--		0,0	33,7	--	33,7	-33,7
Hinojo	--	--		0,0	18,2	--	18,2	-18,2
Judía	--	--		0,0	13,9	--	13,9	-13,9
Promedio				49,0			50,7	-1,70
2000								
Coliflor	--	--		0,0	24,9	--	24,9	-24,9
Cebolla	--	--		0,0	34,6	--	34,6	-34,6
Alcachofa	--	--		0,0	9,7	--	9,7	-9,7
Patata	--	--		0,0	34,4	--	34,4	-34,4
Abono verde	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--		0,0	55,6	--	55,6	-55,6
Hinojo	--	--		0,0	33,3	--	33,3	-33,3
Coliflor	--	--		0,0	25,7	--	25,7	-25,7
Judía	--	--		0,0	6,5	--	6,5	-6,5
Promedio				0,0			56,2	-56,2

Tabla N. Balance desarrollado de potasio en el Sistema Integrado 3

Cultivos	Aportes de K ₂ O (kg / ha)				Extracciones de K ₂ O (kg / ha)			K ₂ O excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	242	--	3,2	245	201	--	201	44,2
Lech. Rom	242	--	6,3	248	97,0	--	97,0	151
Lech. Rom	--	--	8,1	8,1	134	--	134	-126
Hinojo	--	--	6,0	6,0	100	--	100	-94,0
Promedio				127			133	-6,2
1999								
Coliflor	242	--	5,5	247	134	--	134	113
Cebolla	--	--	4,4	4,4	--	--	0,0	4,4
Alchacofa	242	--	12,4	254	101	--	101	154
Patata	--	--	7,5	7,5	353	--	353	-346
Abono verde	--	--	--	0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	7,3	7,3	171	--	171	-164
Lech. Rom 2	--	--	4,8	4,8	--	--	0,0	4,8
Sandía	--	--	5,5	5,5	212	--	212	-207
Hinojo	--	--	5,0	5,0	142	--	142	-137
Judía	--	--	5,5	5,5	45,9	--	45,9	-40,4
Promedio				135			290	-154
2000								
Coliflor	--	--	6,8	6,8	118	--	118	-111
Cebolla	--	--	7,7	7,7	129	--	129	-121
Alchacofa	--	--	7,7	7,7	32,7	--	32,7	-25,0
Patata	--	--	7,9	7,9	203	--	203	-195
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	6,7	6,7	197	--	197	-190
Hinojo	--	--	6,0	6,0	94,4	--	94,4	-88,4
Judía	--	--	6,1	6,1	22,4	--	22,4	-16,3
Coliflor	--	--	12,7	12,7	126	--	126	-113
Promedio				15,4			230	-215

Tabla N. Balance desarrollado de magnesio en el Sistema Integrado 3

Cultivos	Aportes de MgO (kg / ha)				Extracciones de MgO (kg / ha)			MgO excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	70,0	--	174	244	16,8	--	16,8	227,0
Lech. Rom 1	70,0	--	338	408	18,5	--	18,5	389,8
Lech. Rom 2	--	--	414	414	7,6	--	7,6	406,1
Hinojo	--	--	324	324	7,4	--	7,4	317,0
Promedio				348			12,6	335
1999								
Coliflor	70,0	--	209	279	17,6	--	17,6	261
Cebolla		--	231	231	0,0	--	0,0	231
Alcachofa	70,0	--	725	795	9,0	--	9,0	786
Patata	--	--	508	508	21,1	--	21,1	487
Abono verde	--	--	0,0	0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	490	490	13,4	--	13,4	477
Lech. Rom 2	--	--	324	324	0,0	--	0,0	324
Sandía	--	--	298	298	25,3	--	25,3	273
Hinojo	--	--	312	312	9,0	--	9,0	303
Judía	--	--	319	319	7,8	--	7,8	312
Promedio				889			25,8	863
2000								
Coliflor	--	--	568	568	6,4	--	6,4	562
Cebolla	--	--	595	595	28,5	--	28,5	567
Alcachofa	--	--	490	490	5,5	--	5,5	485
Patata	--	--	654	654	18,6	--	18,6	636
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	445	445	38,8	--	38,8	406
Hinojo	--	--	527	527	8,2	--	8,2	519
Judía	--	--	470	470	3,5	--	3,5	466
Coliflor	--	--	462	462	6,4	--	6,4	456
Promedio				1053			29,0	1024

Tabla O. Balance desarrollado de nitrógeno en el Sistema Ecológico 1

Cultivos	Aportes de N (kg / ha)				Extracciones de N (kg / ha)			N excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	202	--	102	304	107	--	107	197
Lech. Rom 1	202	--	165	367	32,5	--	32,5	335
Lech. Rom 2	--	--	307	307	48,4	--	48,4	259
Hinojo	--	--	229	229	47,0	--	47,0	182
Promedio				302			58,7	243
1999								
Coliflor	202	--	375	577	93,5	--	93,5	483
Cebolla	--	--	73	73,4	--	--	0,0	73,4
Alcachofa	202	--	390	592	60,0	--	60,0	532
Patata	--	--	275	275	154	--	154	121
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	188	188	--	--	0,0	188
Lech. Rom 2	--	--	190	190	--	--	0,0	190
Sandía	--	--	149	149	92,9	--	92,9	56,2
Hinojo	--	--	166	166	56,9	--	56,9	109
Judía	--	--	168	168	36,8	--	36,8	131
Promedio				595			123	471
2000								
Coliflor	--	--	290	290	76,4	--	76,4	214
Cebolla	--	--	386	386	58,6	--	58,6	327
Alcachofa	--	--	363	363	51,1	--	51,1	312
Patata	--	--	429	429	135	--	135	294
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	279	279	23,7	--	23,7	255
Hinojo	--	--	343	343	66,9	--	66,9	276
Judía	--	--	336	336	19,2	--	19,2	317
Coliflor	--	--	319	319	67,2	--	67,2	252
Promedio				686			124	562

Tabla P. Balance desarrollado de fósforo en el Sistema Ecológico 1

Cultivos	Aportes de P ₂ O ₅ (kg / ha)				Extracciones de P ₂ O ₅ (kg / ha)			P ₂ O ₅ excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	98,0	--		98,0	33,9	--	33,9	64,1
Lech. Rom 1	98,0	--		98,0	12,0	--	12,0	86,0
Lech. Rom 2	--	--		0,0	12,7	--	12,7	-12,7
Hinojo	--	--		0,0	16,3	--	16,3	-16,3
Promedio				49,0			18,7	30,3
1999								
Coliflor	98,0	--		98,0	36,1	--	36,1	61,9
Cebolla	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Alcachofa	98,0	--		98,0	24,2	--	24,2	73,8
Patata	--	--		0,0	51,8	--	51,8	-51,8
Abono verde	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Sandía	--	--		0,0	25,6	--	25,6	-25,6
Hinojo	--	--		0,0	19,7	--	19,7	-19,7
Judía		--		0,0	10,3	--	10,3	-10,3
Promedio				49,0			41,9	7,1
2000								
Coliflor	--	--		0,0	26,0	--	26,0	-26,0
Cebolla	--	--		0,0	29,1	--	29,1	-29,1
Alcachofa	--	--		0,0	13,8	--	13,8	-13,8
Patata	--	--		0,0	30,1	--	30,1	-30,1
Abono verde	--	--		0,0	0,0	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--		0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--		0,0	11,0	--	11,0	-11,0
Hinojo	--	--		0,0	26,5	--	26,5	-26,5
Judía	--	--		0,0	4,9	--	4,9	-4,9
Coliflor	--	--		0,0	22,4	--	22,4	-22,4
Promedio				0,0			41,0	-41,0

Tabla Q. Balance desarrollado de potasio en el Sistema Ecológico 1

Cultivos	Aportes de K ₂ O (kg / ha)				Extracciones de K ₂ O (kg / ha)			K ₂ O excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	242	--	4,4	246	219	--	219	27,4
Lech. Rom 1	242	--	6,3	248	89,0	--	89,0	159
Lech. Rom 2	--	--	8,1	8,1	116	--	116	-108
Hinojo	--	--	0,9	0,9	93,1	--	93,1	-92,2
Promedio				126			129	-3,4
1999								
Coliflor	242	--	5,4	247	156,4	--	156	91,0
Cebolla	--	--	4,1	4,1	0,0	--	0,0	4,1
Alcachofa	242	--	13,7	256	94,0	--	94,0	162
Patata	--	--	9,6	9,6	357	--	357	-347
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	6,1	6,1	--	--	0,0	6,1
Lech. Rom 2	--	--	6,7	6,7	--	--	0,0	6,7
Sandía	--	--	5,2	5,2	118	--	118	-113
Hinojo	--	--	6,0	6,0	130	--	130	-124
Judía	--	--	5,9	5,9	38,9	--	38,9	-33,0
Promedio				137			224	-86,9
2000								
Coliflor	--	--	6,6	6,6	153	--	153	-146
Cebolla	--	--	7,5	7,5	75,2	--	75,2	-67,7
Alcachofa	--	--	7,0	7,0	45,6	--	45,6	-38,6
Patata	--	--	7,7	7,7	164	--	164	-156
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	6,2	6,2	49,2	--	49,2	-43,0
Hinojo	--	--	6,9	6,9	101	--	101	-93,7
Judía	--	--	6,5	6,5	26,3	--	26,3	-19,8
Coliflor	--	--	13,0	13,0	92,8	--	92,8	-79,8
Promedio				15,4			177	-161

Tabla R. Balance de magnesio en el Sistema Ecológico 1

Cultivos	Aportes de MgO (kg / ha)				Extracciones de MgO (kg / ha)			MgO excedente (kg / ha)
	Abono orgánico	Fertilizante mineral	Agua de riego	Total aportes	Extracciones del cultivo		Total extracciones	
					Producción	Residuos		
1998								
Sandía	70,0	--	245	315	18,0	--	18,0	297
Lech. Rom 1	70,0	--	338	408	6,7	--	6,7	402
Lech. Rom 2	--	--	428	428	9,4	--	9,4	418
Hinojo	--	--	324	324	8,8	--	8,8	316
Promedio				369			10,7	358
1999								
Coliflor	70,0	--	206	276	9,0	--	9,0	267
Cebolla	--	--	183	183	--	--	0,0	182,8
Alcachofa	70,0	--	738	808	9,6	--	9,6	798
Patata	--	--	520	520	24,6	--	24,6	495
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	357	357	--	--	0,0	357
Lech. Rom 2	--	--	360	360	--	--	0,0	360
Sandía	--	--	282	282	16,8	--	16,8	265
Hinojo	--	--	312	312	11,6	--	11,6	300
Judía	--	--	318	318	6,2	--	6,2	312
Promedio				854			19,5	834
2000								
Coliflor	--	--	568	568	6,9	--	6,9	561
Cebolla	--	--	595	595	8,3	--	8,3	587
Alcachofa	--	--	490	490	8,2	--	8,2	482
Patata	--	--	654	654	18,4	--	18,4	636
Abono verde	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 1	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Lech. Rom 2	--	--	--	0,0	--	--	0,0	0,0
Sandía	--	--	445	445	17,9	--	17,9	427
Hinojo	--	--	470	470	11,8	--	11,8	458
Judía	--	--	527	527	2,2	--	2,2	525
Coliflor	--	--	470	470	3,2	--	3,2	467
Promedio				1055			19,2	1036

Balances de materia orgánica

En las siguientes tablas se recogen, detalladamente, los balances de materia orgánica de cada sistema de producción.

Aparecen las cantidades aportadas por los residuos de cultivo incorporados y el aportado con los cepellones que acompañan a las plantas transplantadas, así como la cantidad de materia orgánica que se introduce con las enmiendas orgánicas.

Tabla S. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 1

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Pimiento	4306	0,2	861	0,135	581
Cepellón	136	0,6	81,6	0,6	81,6
Little gem 1	100	0,15	15	0,135	13,5
Cepellón	352	0,6	211	0,6	211
Maíz dulce	8115	0,2	1623	0,135	1096
Brócoli	5929	0,15	889	0,135	800
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	84,6
Sandía	4045	0,2	809	0,135	546
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Cebolla	1005	0,15	151	0,135	136
Compost	6295	0,5	3148	0,5	3147,5
Total aportaciones			7900		6724
Aportaciones medias por hectárea y año			1975		1681
Mineralización por hectárea y año		0,02*84240*0,79	1331		1331
1999					
Little gem 1	100	0,15	15,0	0,135	2,0
Cepellón	352	0,6	211	0,6	127
Maíz dulce	3292	0,2	658	0,135	88,9
Brócoli	5929	0,15	889	0,135	120
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	50,8
Iceberg	1173	0,15	176	0,135	23,8
Cepellón	164	0,6	98,4	0,6	59,0
Avena veza	3340	0,25	835	0,135	113
Pimiento	600	0,2	120	0,135	16,2
Cepellón	136	0,6	81,6	0,6	49,0
Little gem 2	312	0,15	46,8	0,135	6,3
Cepellón	352	0,6	211	0,6	127
Apio	1233	0,15	185	0,135	25,0
Cepellón	273	0,6	164	0,6	98,3
Sandía	1500	0,2	300	0,135	40,5
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	15,8
Cebolla	150	0,15	22,5	0,135	3,0
Compost	3147	0,5	1574	0,5	787
Total aportaciones			5699		1752
Aportaciones medias por hectárea y año			1425		1208
Mineralización por hectárea y año		0,02*102600	2040		2040

Tabla S. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 1 (continuación)

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coeficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coeficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
2000					
Little gem 1	100	0,15	15,0	0,135	2,0
Cepellón	352	0,6	211	0,6	127
Maíz dulce	3410	0,2	682	0,135	92,1
Brócoli	6118	0,15	918	0,135	124
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	50,8
Iceberg	100	0,15	15,0	0,135	2,0
Cepellón	164	0,6	98,4	0,6	59,0
Avena veza	6152	0,25	1538	0,135	207,6
pimiento	8691	0,2	1738	0,135	235
Cepellón	136	0,6	81,6	0,6	49,0
Little gem 2	100	0,15	15,0	0,135	2,0
Cepellón	352	0,6	211	0,6	127
Apio	800	0,15	120	0,135	16,2
Cepellón	273	0,6	164	0,6	98,3
Sandía	1500	0,2	300	0,135	40,5
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	15,8
Total aportaciones			6218		1247
Aportaciones media por hectárea y año			1555		1130
Mineralización por hectárea y año		0,02*91980	1684		1684

Tabla T. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 2

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coeficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coeficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
			K _i variable	K _i constante	
1998					
Sandía	3255	0,2	651	0,135	439
Cepellón	15	0,6	9,0	0,6	9
Tomate	3676	0,2	735	0,135	496
Cepellón	109	0,6	65,4	0,6	65,4
Lech. Rom. 2	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	84,6
Estiércol	9156	0,5	4578	0,5	4578
Total aportaciones			6138		5686
Aportaciones medias por hectárea y año			1535		1422
Mineralización por hectárea y año			992		992
1999					
Coliflor	4381	0,15	657	0,135	591
Cepellón	41	0,6	24,6	0,6	24,6
Avena veza	15253	0,2	3051	0,135	2059
Alcachofa	7259	0,2	1451,8	0,135	980
Cebolla	1091	0,15	163,7	0,135	147
Judía	7696	0,2	1539	0,135	1039
Sandía	3143	0,2	629	0,135	424
Cepellón	15	0,6	9,0	0,6	9
Tomate	3661	0,2	732	0,135	494
Cepellón	109	0,6	65,4	0,6	65,4
Lech. Rom.	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	84,6
Estiércol	3052	0,5	1526	0,5	1526
Total aportaciones			10047		7557
Aportaciones medias por hectárea y año			2512		1889
Mineralización por hectárea y año			2137		2137

Tabla T. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 2 (continuación)

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K _i variable		K _i constante	
2000					
Lechuga Rom.1	2034	0,15	305	0,135	275
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	84,6
Coliflor	1000	0,15	952	0,135	857
Cepellón	41	0,6	24,6	0,6	24,6
Avena veza	7525	0,25	1881	0,135	1016
Alcachofa	2000	0,2	1342	0,135	906
Judía	500	0,2	1258	0,135	849
Sandía	1500	0,2	563	0,135	380
Cepellón	15	0,6	9,0	0,6	9,0
Tomate	200	0,2	357	0,135	241
Cepellón	109	0,6	65,4	0,6	65,4
Lechuga Rom.2	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	141	0,6	84,6	0,6	84,6
Total aportaciones			6942		4805
Aportaciones medias por hectárea y año			1735		1201
Mineralización por hectárea y año			2063		2063

Tabla U. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 3

Fuentes de humus	Restos de cultivos (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Lech. Rom.1	100	0,15	15	0,135	13,5
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Lech. Rom.2	100	0,15	15	0,135	13,5
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Sandía	4634	0,2	927	0,135	626
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Hinojo	2453	0,15	368	0,135	331
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Estiércol	7380	0,5	3690	0,5	3690
Total aportaciones			5585		5244
Aportaciones medias por hectárea y año			1396		1311
Mineralización por hectárea y año			578		578
1999					
Coliflor	5527	0,15	829	0,135	746
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Cebolla	603	0,15	90,5	0,135	81,4
Cepellón	820	0,6	492	0,6	492
Alcachofa	16789	0,2	3358	0,135	2267
Avena veza	1691	0,25	423	0,135	228
Patata	2781	0,15	417	0,135	375
Lech. Rom.1	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Lech. Rom.2	2637	0,15	396	0,135	356
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Sandía	4415	0,2	883	0,135	596
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Judía	3417	0,2	683	0,135	461
Hinojo	2453	0,15	368	0,135	331
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Total aportaciones			8570		6564
Aportaciones medias por hectárea y año			2143		1641
Mineralización por hectárea y año			1094		1094

Tabla U. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Integrado 3 (continuación)

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K _i variable		K _i constante	
2000					
Coliflor	6358	0,15	954	0,135	858
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Cebolla	621	0,15	93,2	0,135	83,8
Cepellón	820	0,6	492	0,6	492
Alcachofa	6526	0,2	1305	0,135	881
Avena veza	7133	0,25	1783	0,135	963
Patata	800	0,15	120	0,135	108
Sandía	5562	0,2	1112	0,135	751
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Judía	2825	0,2	565	0,135	381
Coliflor	5415	0,15	812	0,135	731
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Hinojo	3324	0,15	498	0,135	449
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Total aportaciones			8203		6166
Aportaciones medias por hectárea y año			2051		1541
Mineralización por hectárea y año			1256		1256

Tabla V. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Ecológico 1

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K _i variable		K _i constante	
1998					
Lech. Rom. 1	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Lech. Rom. 2	100	0,15	15,0	0,135	13,5
Cepellón	162	0,6	97,2	0,6	97,2
Sandía	4652	0,2	930	0,135	626
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Hinojo	2579	0,15	387	0,135	331
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Estiércol	7380	0,5	3690	0,5	3690
Total aportaciones			5608		5264
Aportaciones medias por hectárea y año			1402		1316
Mineralización por hectárea y año			610		610
1999					
Coliflor	5133	0,15	770	0,135	693
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Cebolla	603	0,15	90	0,135	81
Cepellón	820	0,6	492	0,6	492
Alcachofa	12499	0,2	2500	0,135	1687
Avena veza	1708	0,25	427	0,135	231
Patata	2735	0,15	410	0,135	369
Lech. Rom. 1	697	0,15	105	0,135	94,1
Cepellón	162	0,6	97	0,6	97
Lech. Rom. 2	1894	0,15	284	0,135	256
Cepellón	162	0,6	97	0,6	97
Sandía	6710	0,2	1342	0,135	906
Cepellón	44	0,6	26	0,6	26
Judía	3539	0,2	708	0,135	478
Hinojo	1579	0,15	237	0,135	213
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Total aportaciones			7981		6116
Aportaciones medias por hectárea y año			1995		1529
Mineralización por hectárea y año			1265		1265

Tabla V. Balances anuales desarrollados de materia orgánica en el Sistema Ecológico 1 (continuación)

Fuentes de humus	Restos de cultivo (kg m.s./ ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)	Coefficiente de humificación	Humus producido (kg/ha)
		K ₁ variable		K ₁ constante	
2000					
Coliflor	5681	0,15	852	0,135	767
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Cebolla	592	0,15	88,8	0,135	79,9
Cepellón	820	0,6	492	0,6	492
Alcachofa	5853	0,2	1171	0,135	790
Avena veza	8915	0,25	2229	0,135	1204
Patata	800	0,15	120	0,135	108
Sandía	5963	0,2	1193	0,135	805
Cepellón	44	0,6	26,4	0,6	26,4
Judía	2756	0,2	551	0,135	372
Coliflor	5736	0,15	860	0,135	774
Cepellón	76	0,6	45,6	0,6	45,6
Hinojo	3715	0,15	557	0,135	502
Cepellón	583	0,6	350	0,6	350
Total aportaciones			8581		6361
Aportaciones medias por hectárea y año			2145		1590
Mineralización por hectárea y año			1352		1352