

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



Valoración agronómica de compost y vermicompost de
alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto
como enmiendas sólidas y líquidas

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Javier Cruz Hernández

Dirigida por:

Dr. Rodolfo Canet Castelló
Dr. Fernando Pomares García

Tutor:

Dr. Alberto San Bautista Primo

Valencia España, noviembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento a los Drs. Fernando Pomares y Rodolfo Canet, por sus atinadas observaciones para llevar a buen término el presente trabajo.

Al Dr. Alberto San Bautista por sus observaciones y por sus valiosos consejos para que pudiera salir a flote durante el trabajo de investigación para obtener el DEA.

Al Colegio de Postgraduados (CP) y a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) y a todo el personal del laboratorio de análisis químico del Centro de Investigación para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible del IVIA por el apoyo recibido.

A la Dra. Maria Dolores Raigón por su siempre amable atención y por las molestias que le pude haber causado en aquellos momentos cuando no encontraba el rumbo.

A todo el personal académico, administrativo y estudiantes del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Valencia por las atenciones recibidas.

A todos los compañeros del Colegio de Postgraduados Campus Puebla.

A Catarino, Leo, Silvia, Patricia, Cristina, a la Sra. Amparo Martí, a la “gente” de las brasas, por compartir algunos momentos en los que nuestros caminos convergieron, de todos he aprendido y solo puedo decirles muchas gracias.

Un recuerdo que dejo

¿Con qué he de irme?

¿Nada dejaré en pos de mí sobre la tierra?

¿Cómo ha de actuar mi corazón?

¿Acaso en vano venimos a vivir,

a brotar sobre la tierra?

Dejemos al menos flores

Dejemos al menos cantos

*Nezahualcóyotl
(1402 -1472)*

Con mucho cariño y de manera muy especial para **Héctor y José**

A **Machi**

... con tu entereza, esfuerzo y sacrificio diarios, me demostraste el significado de la luz que todo lo ilumina

...el gran cariño y amor que no me merezco.

A mis padres, Salomón y Pilar, y a mis hermanos, gracias por su apoyo total y porque siempre estuvieron presentes a pesar de la distancia...

Las cosas más sencillas son las que mayor valor tienen y debemos saber apreciarlas...

... una simple sonrisa, un apretón de manos o un abrazo hacen más ligera la carga arriba en el camino.

A Jorge y Heli, a Martha, a Nacho y familia, y a mi suegrita muchas gracias por todo el apoyo recibido.

Resumen

En la búsqueda de opciones para el reciclaje de los residuos generados en la extracción de aceite de oliva, se realizaron seis experimentos (tres con productos sólidos y otros tres con productos líquidos) en condiciones de invernadero, con el objetivo de valorar el efecto de diferentes productos originados a partir de los alperujos sobre los parámetros del crecimiento, la producción y nutrición en los cultivos de lechuga y espinaca. De los productos sólidos, en el experimento 1, se evaluaron sobre el cultivo de lechuga tres composts (CPI, CPII y CPIII) a cinco dosis de nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg N/ha), incluyendo un fertilizante mineral a esas mismas dosis; en el experimento 2, se evaluaron, también sobre lechuga, los tres composts anteriores, a cuatro dosis de materia orgánica (0, 10, 20 y 30 t/ha), aplicadas al suelo; y en el experimento 3, se compararon los efectos de un compost y un vermicompost, a dosis de 5 y 10 t de materia seca/ha, sobre una rotación de dos cultivos: lechuga – espinaca. De los productos líquidos, en el experimento 4, se evaluaron sobre lechuga – espinaca los efectos de distintas sustancias húmicas originadas a partir de un compost y un vermicompost, así como tres productos comerciales, aplicadas al suelo, a tres dosis (0, 12,5 y 25 mg de C/kg de suelo); en el experimento 5, se compararon los efectos derivados de los mismos productos y dosis que los utilizados en el experimento anterior, pero aplicados vía foliar; y en el experimento 6, se valoraron, también sobre la rotación lechuga – espinaca, los efectos de los extractos acuosos (0, 0,5 y 1 g de producto/L), obtenidos de un compost y un vermicompost y aplicados vía foliar.

Los parámetros productivos de los cultivos utilizados resultaron poco afectados por los productos aplicados en forma sólida; en cambio el fertilizante mineral resultó muy efectivo para aumentar la producción de biomasa en el cultivo de lechuga. Los valores de los indicadores de eficiencia del nitrógeno reflejaron también un bajo valor como fuente de nitrógeno de los tres composts y el vermicompost. Estos últimos productos fertilizantes afectaron poco a los parámetros nutricionales de los cultivos, a diferencia de lo sucedido con el fertilizante mineral que originó una mejora considerable en el contenido y absorción de los nutrientes, particularmente del nitrógeno.

Los tres composts comparados mostraron considerables diferencias de respuesta en el cultivo indicador (lechuga). Y la eficiencia del vermicompost en comparación con la del compost, a pesar de sus mejores características físico – químicas, resultó similar en la lechuga, pero algo mejor en la espinaca. Y el efecto de la dosis de aplicación de los fertilizantes orgánicos resultó significativo únicamente en el experimento 2.

Las distintas sustancias húmicas líquidas aplicadas al suelo tampoco resultaron efectivas para aumentar la biomasa de los cultivos indicadores (lechuga y espinaca), ni para mejorar el estado nutricional de los mismos. Asimismo, estas sustancias húmicas aplicadas por vía foliar tampoco originaron efectos claramente positivos sobre la producción de la rotación: lechuga – espinaca; en cambio, algunos tratamientos provocaron en las plantas de espinaca un aumento en el contenido y absorción de varios nutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio, hierro, cinc y cobre) y, en general, los contenidos de nutrientes más elevados se registraron con la dosis alta.

Respecto a los extractos acuosos de compost y vermicompost resultaron efectivos para aumentar la biomasa vegetal únicamente en el cultivo de lechuga. Y el efecto de ambos tipos de extractos sobre el

contenido nutricional de las plantas, aunque fue más marcado en la lechuga, las diferencias entre ambos productos resultaron escasas.

Palabras clave: alperujos, nitrógeno, materia orgánica, compost, vermicompost, producción, nutrición, lechuga, espinaca.

Summary

In the search of options for the recycling of the residues generated in the olive oil extraction (alperujos), six experiments were realised (three with solid products and other three with liquid products) in greenhouse conditions, with the aim of valuing the effect of different products originated from the alperujos on the parameters of the growth, the production and nutrition in the lettuce and spinach. Of the solid products, in experiment 1, were evaluated on the lettuce three composts (CPI, CPII and CPIII) to five doses of nitrogen (0, 50, 100, 150 and 200 kg N/ha), including a mineral fertilizer to those same doses; in experiment 2, were evaluated, also on lettuce, the three composts indicated previously, to four doses of organic matter (0, 10, 20 and 30 t/ha), applied to the soil; and in experiment 3, the effects of compost and vermicompost were compared, to doses of 5 and 10 t dry matter/ha, on a rotation of two crops: lettuce - spinach. Of liquid products, in experiment 4, the effects of different húmic substances originated from compost and vermicompost were evaluated on lettuce - spinach, as well as three commercial products, applied to the soil, to three doses (0, 12,5 and 25 mg of C/kg of soil); in experiment 5, the effects of the same products and doses were compared that the used ones in the experiment indicated previously, but applying to foliar sprays; and in experiment 6, they were valued, also on the rotation lettuce - spinach, the effects of the water extracts (0, 0,5 and 1 g of product/L), obtained of compost and vermicompost and applied to foliar sprays.

The productive parameters of the used horticultural crops were little affected by products applied in solid form; however the mineral fertilizer turned out very effective to increase the production of biomass in the lettuce. The values of the indicators of used efficiency of nitrogen also reflected a low value of the three composts and vermicompost like the nitrogen sources. These last fertilizing products affected little to the nutritional parameters of the crops, unlike the happened thing to the mineral fertilizer that originated a considerable improvement in the content and absorption of the nutrients, particularly of nitrogen.

The three composts compared showed considerable differences of answer in the horticultural crop (lettuce). And the efficiency of vermicompost in comparison with the one of compost, in spite of its better physical - chemical characteristics, was similar in the lettuce, but something better in the spinach. And the effect of the dose of application of organic fertilizers was solely significant in experiment 2.

The different liquid humic substances applied to the soil did not turn out either effective to increase the biomass of the indicative crops (lettuce and spinach), nor to improve the nutritional state of the same. Also, these humic substances applied by foliar route either did not originate clearly positive effects on the production of the rotation: lettuce - spinach; however, some treatments brought about in the spinach plants an increase in the content and absorption of several nutrients (nitrogen, phosphorus, calcium, iron, zinc and copper) and, generally, the more elevated contents of nutrients were registered with the high dose.

With respect to the water extracts of compost and vermicompost they turned out effective to increase the vegetable biomass solely in the lettuce crop. And the effect of both types of extracts on the nutritional content of the plants, although more was marked in the lettuce, the differences between both products were little.

Key words: alperujos, nitrogen, organic matter, compost, vermicompost, production, nutrition, lettuce, spinach.

Resum

En la recerca d'opcions per al reciclatge dels residus generats en l'extracció d'oli d'oliva, es van realitzar sis experiments (tres amb productes sòlids i altres tres amb productes líquids) en condicions d'hivernacle, amb l'objectiu de valorar l'efecte de diferents productes originats a partir dels alperujos sobre els paràmetres del creixement, la producció i nutrició en els cultius d'encisam i espinac. Dels productes sòlids, en l'experiment 1, es van avaluar sobre el cultiu d'encisam tres composts (CPI, CPII i CPIII) a cinc dosis de nitrogen (0, 50, 100, 150 i 200 kg N/ha), incloent un fertilitzant mineral a aqueixes mateixes dosis; en l'experiment 2, es van avaluar, també sobre encisam, els tres composts anteriors, a quatre dosis de matèria orgànica (0, 10, 20 i 30 t/ha), aplicades al sòl; i en l'experiment 3, es van comparar els efectes d'un compost i un vermicompost, a dosi de 5 i 10 t de matèria seca/ha, sobre una rotació de dos cultius: encisam – Espinac. Dels productes líquids, en l'experiment 4, es van avaluar sobre encisam – Espinac els efectes de distintes substàncies húmiques originades a partir d'un compost i un vermicompost, així com tres productes comercials, aplicades al sòl, a tres dosis (0, 12,5 i 25 mg de C/kg de sòl); en l'experiment 5, es van comparar els efectes derivats dels mateixos productes i dosi que els utilitzats en l'experiment anterior, però aplicats via foliar; i en l'experiment 6, es van valorar, també sobre la rotació encisam – Espinac, els efectes dels extractes aquosos (0, 0,5 i 1 g de producte/L), obtinguts d'un compost i un vermicompost i aplicats via foliar.

Els paràmetres productius dels cultius utilitzats van resultar poc afectats pels productes aplicats en forma sòlida; en canvi el fertilitzant mineral va resultar molt efectiu per a augmentar la producció de biomassa en el cultiu d'encisam. Els valors dels indicadors d'eficiència del nitrogen van reflectir també un baix valor com a font de nitrogen dels tres composts i el vermicompost. Aquests últims productes fertilitzants van afectar poc als paràmetres nutricionals dels cultius, a diferència d'allò que s'ha succeït amb el fertilitzant mineral que va originar una millora considerable en el contingut i absorció dels nutrients, particularment del nitrogen.

Els tres composts comparats van mostrar considerables diferències de resposta en el cultiu indicador (encisam). I l'eficiència del vermicompost en comparació amb la del compost, a pesar de les seues millors característiques físic – Químiques, va resultar semblant en l'encisam, però quelcom millor en l'espinac. I l'efecte de la dosi d'aplicació dels fertilitzants orgànics va resultar significatiu únicament en l'experiment 2.

Les distintes substàncies húmiques líquides aplicades al sòl tampoc van resultar efectives per a augmentar la biomassa dels cultius indicadors (encisam i espinac), ni per a millorar l'estat nutricional dels mateixos. Així mateix, aquestes substàncies húmiques aplicades per via foliar tampoc van originar efectes clarament positius sobre la producció de la rotació: encisam – Espinac; en canvi, alguns tractaments van provocar en les plantes d'espinac un augment en el contingut i absorció de diversos nutrients (nitrogen, fòsfor, calci, ferro, zinc i coure) i, en general, els continguts de nutrients més elevats es van registrar amb la dosi alta.

Respecte als extractes aquosos de compost i vermicompost van resultar efectius per a augmentar la biomassa vegetal únicament en el cultiu d'encisam. I l'efecte d'ambdós tipus d'extractes sobre el

contingut nutricional de les plantes, encara que va ser més marcat en l'encisam, les diferències entre ambdós productes van resultar escasses.

Paraules clau: alperujos, nitrogen, matèria orgànica, compost, vermicompost, producció, nutrició, encisam, espinac.

ÍNDICE

Objetivos

Introducción

1.1. Los residuos de almazara	8
1.1.1. Origen y problemática	8
1.1.2. Sistemas de extracción del aceite y tipos de residuos producidos en las almazaras	9
1.1.3. Alternativas de gestión de los residuos	12
1.2. La materia orgánica en el suelo	15
1.2.1. Definición	15
1.2.2. Importancia de la materia orgánica en los suelos	16
1.2.2.1. Los residuos orgánicos en el marco de una agricultura sostenible	17
1.3. El compostaje	20
1.3.1. Definición y fundamento	20
1.3.2. Métodos de compostaje	20
1.3.3. Fases del compostaje	21
1.3.4. Los factores que influyen en el compostaje	23
1.3.5. La composición de los composts de alperujos	25
1.4. El vermicompostaje	27
1.4.1. Definición y fundamento	27
1.4.2. Métodos de vermicompostaje	27
1.4.3. Fases del vermicompostaje	28
1.4.4. Los factores que influyen en el vermicompostaje	29
1.4.5. La composición de los vermicompost de alperujos	30
1.5. Valor agrícola de los composts de alperujos	33
1.5.1. Efectos en las propiedades del suelo	34
1.5.1.1. En las propiedades físicas	34
1.5.1.2. En las propiedades fisicoquímicas	35
1.5.1.3. En las propiedades químicas	36
1.5.1.4. En las propiedades biológicas	36
1.5.2. Efectos en la nutrición de los cultivos	37
1.5.3. Efectos en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas	38
1.6. Valor agrícola de los vermicomposts de alperujos	39
1.6.1. Efectos en las propiedades del suelo	39
1.6.2. Efectos en la nutrición y en la producción de los cultivos	40
1.7. Los productos orgánicos líquidos	41
1.7.1. Sustancias húmicas	41
1.7.1.1. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas	43
1.7.1.2. Sustancias húmicas comerciales	44

1.7.2. Valor agrícola de las sustancias húmicas	45
1.7.2.1. Sustancias húmicas aplicadas al suelo	45
1.7.2.1.1. Efectos en las propiedades del suelo	45
1.7.2.1.2. Efectos en la nutrición, el crecimiento y producción de las plantas	46
1.7.2.2. La aplicación foliar de las sustancias húmicas	49
1.7.2.3. Las sustancias húmicas de residuos de almazara	50
1.7.3. Los extractos acuosos de composts	51
1.7.3.1. La aplicación de extractos acuosos al suelo	51
1.7.3.2. La aplicación foliar de extractos acuosos de composts	52
1.7.3.3. Extractos acuosos de residuos de almazara	53

Material y métodos

2.1. Los composts a base de alperujos	57
2.1.1. Origen y preparación de los composts	57
2.1.2. Valoración agronómica de los composts de alperujos	59
2.1.2.1. Experimento 1. Valoración de los composts derivados de alperujos como fuente de nitrógeno	60
2.1.2.2. Experimento 2. Valoración de los compost derivados de alperujos como enmienda orgánica	62
2.2. Los vermicomposts derivados de alperujos	65
2.2.1. Origen y preparación de los vermicomposts	65
2.2.2. Valoración agronómica de los vermicomposts	66
2.2.2.1. Experimento 3. Valoración de los vermicomposts como enmienda orgánica	66
2.3. Valoración de los productos líquidos	69
2.3.1. Sustancias húmicas de composts a base de alperujos	60
2.3.1.1. Experimento 4. Valoración de la aplicación al suelo de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost	69
2.3.1.2. Experimento 5. Valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost	71
2.3.2. Los extractos acuosos de los composts derivados de alperujos	74
2.3.2.1. Experimento 6. Valoración de la aplicación foliar de extractos acuosos de los composts	74
2.4. Metodologías analíticas	76
2.5. Análisis estadístico de los datos	83

Resultados y discusión

3.1. Los composts a base de alperujos	87
3.1.1. Caracterización analítica de los composts	87
3.1.2. Valoración del nitrógeno y la materia orgánica de los composts de alperujos (experimentos 1 y 2)	90
3.1.2.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en el cultivo de lechuga	90
3.1.2.2. Efectos en el contenido de nutrientes en las hojas de lechuga	98
3.1.2.3. Efectos en la absorción de nutrientes en el cultivo de lechuga	103
3.1.2.4. Efectos en la eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts de alperujos	109
3.2. El compost y vermicompost de alperujos	112
3.2.1. Caracterización analítica del vermicompost	112
3.2.2. Valoración del compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)	115
3.2.2.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos de lechuga y espinaca	115
3.2.2.2. Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos de lechuga y espinaca	119
3.2.2.3. Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos de lechuga y espinaca	123
3.2.2.4. Efectos en la eficiencia de utilización del nitrógeno del compost y vermicompost	126
3.2.2.5. Relación entre el contenido foliar y las aportaciones de nutrientes	127
3.2.2.6. Relación entre la absorción de nutrientes por las plantas y las aportaciones realizadas	129
3.3 Las sustancias húmicas de los composts	131
3.3.1. Valoración de la aplicación al suelo de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost de alperujos (experimento 4)	131
3.3.1.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos de lechuga y espinaca	131
3.3.1.2. Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos de lechuga y espinaca	136
3.3.1.3. Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos de lechuga y espinaca	144
3.3.2. Valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost de alperujos (experimento 5)	149
3.3.2.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos de lechuga y espinaca	149
3.3.2.2. Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos de lechuga y espinaca	154

3.3.2.3. Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos de lechuga y espinaca	161
3.4. Valoración de la aplicación foliar de extractos acuosos de los composts de alperujos (experimento 6)	167
3.4.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos de lechuga y espinaca	167
3.4.2. Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos de lechuga y espinaca	171
3.4.3. Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos de lechuga y espinaca	176
Conclusiones	179
Bibliografía	185
Anejos	205
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xv

Índice de tablas

Tabla 1	Valor económico, producción y consumo del aceite de oliva	8
Tabla 2	Principales características de los alpechines	10
Tabla 3	Principales características de los alperujos	11
Tabla 4	Características de los composts producidos a partir de residuos de almazara	26
Tabla 5	Principales características de los vermicomposts producidos a partir de residuos de almazara	31
Tabla 6	Clases de residuos y características de las mezclas iniciales para el compostaje de los alperujos	57
Tabla 7	Características del suelo utilizado en los experimentos	60
Tabla 8	Características de las sustancias húmicas valoradas	70
Tabla 9	Características de los extractos acuosos de composts evaluados	74
Tabla 10	Características químicas y fisicoquímicas de los composts de alperujos	87
Tabla 11	Parámetros de producción en la lechuga tratada con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	91
Tabla 12	Respuesta de la lechuga tratada con diferentes dosis de materia orgánica en forma de composts de alperujos	95
Tabla 13	Contenido de macro y microelementos en hojas de lechuga tratada con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	99
Tabla 14	Contenido de macro y microelementos en hojas de lechuga tratada con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos	100
Tabla 15	Eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts de alperujos aplicados en el cultivo de lechuga en los experimentos 1 y 2	110
Tabla 16	Características analíticas del compost y vermicompost de alperujos	112
Tabla 17	Parámetros de producción y crecimiento en la lechuga fertilizada con compost y vermicompost de alperujos	116
Tabla 18	Parámetros de producción y crecimiento en espinaca fertilizada con compost y vermicompost de alperujos	116
Tabla 19	Contenido de nutrientes en la lechuga fertilizada con compost y vermicompost de alperujos	121

Tabla 20	Contenido de nutrientes en la espinaca fertilizada con compost y vermicompost de alperujos	122
Tabla 21	Eficiencia de utilización del nitrógeno del vermicompost y compost de alperujos en lechuga y espinaca en el experimento 3	127
Tabla 22	Coeficientes de correlación entre el contenido de nutrientes y la aportación de nutrientes con los productos a base de alperujos	128
Tabla 23	Coeficientes de correlación entre la absorción de nutrientes y la aportación de nutrientes con los productos a base de alperujos	130
Tabla 24	Parámetros de producción y crecimiento en la lechuga tratada mediante la fertilización al suelo con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	132
Tabla 25	Parámetros de producción y crecimiento en espinaca fertilizada con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	134
Tabla 26a y b	Contenido de nutrientes en lechuga tratada mediante la aplicación al suelo de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	137
Tabla 27a y b	Contenido de nutrientes en espinaca fertilizada con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	141
Tabla 28	Parámetros de producción y crecimiento en lechuga tratada mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	150
Tabla 29	Parámetros de producción y crecimiento en espinaca tratada mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	151
Tabla 30a y b	Contenido de nutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost	155
Tabla 31a y b	Contenido de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	158
Tabla 32	Parámetros de producción y crecimiento en lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos	168
Tabla 33	Contenido de nutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos	172
Tabla 34	Contenido de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts	173

Índice de figuras

Figura 1	Propiedades de las sustancias húmicas	42
Figura 2	Vista general del IVIA, la parcela y los invernaderos en los que se realizaron las experiencias. Moncada (Valencia)	61
Figura 3	Distribución de los tratamientos en dos repeticiones en el experimento de valoración del nitrógeno de los composts de alperujos	61
Figura 4	Distribución de los tratamientos en dos repeticiones en el experimento de valoración de la materia orgánica de los composts de alperujos	63
Figura 5	Distribución de los tratamientos en el experimento de valoración del vermicompost de alperujos	67
Figura 6	Distribución de los tratamientos en una repetición del experimento sobre valoración de las sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos aplicadas al suelo	71
Figura 7	Distribución de los tratamientos en una repetición del experimento sobre la valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	73
Figura 8	Distribución de los tratamientos en el experimento sobre la valoración de los extractos acuosos de los composts de alperujos	75
Figura 9	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	92
Figura 10	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	93
Figura 11	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos	94
Figura 12	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos	96
Figura 13	Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	104
Figura 14	Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral	105

Figura 15	Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos	107
Figura 16	Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos	108
Figura 17	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos	117
Figura 18	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos	118
Figura 19	Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga y espinaca tratadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos	124
Figura 20	Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga y espinaca tratadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos	125
Figura 21	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	133
Figura 22	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	135
Figura 23	Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	145
Figura 24	Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga fertilizada con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	146
Figura 25	Absorción de macronutrientes en las plantas de espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	147
Figura 26	Absorción de micronutrientes en las plantas de espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	148
Figura 27	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	152

Figura 28	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	153
Figura 29	Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	162
Figura 30	Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	163
Figura 31	Absorción de macronutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	164
Figura 32	Absorción de micronutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos	165
Figura 33	Biomasa fresca y seca relativa de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos	169
Figura 34	Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos	170
Figura 35	Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar de extractos acuosos de composts de alperujos	177
Figura 36	Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar de extractos acuosos de composts de alperujos	178

OBJETIVOS

Objetivos

Los residuos de almazara, generados en la extracción del aceite de oliva por el sistema de dos fases, se producen en cantidades importantes y son considerados como potencialmente contaminantes; pero en la búsqueda de alternativas de reutilización o reciclaje a estos residuos, se les han encontrado diferentes aplicaciones. Entre estas aplicaciones, destaca su aprovechamiento para el compostaje y el vermicompostaje, unas técnicas de tratamiento de residuos orgánicos que son sencillas y económicas, y que se vislumbran muy interesantes para la obtención de productos con alto valor fertilizante en el sector agrícola.

Con la caracterización química de los composts y vermicomposts elaborados con alperujos, se ha podido constatar que son productos adecuados o con potencial fertilizante para ser utilizados en la producción de los cultivos agrícolas; sin embargo, sus características tales como el nivel de pH, conductividad eléctrica, sólidos volátiles y contenido de sustancias tóxicas podrían condicionar su uso en determinadas aplicaciones agropecuarias, tipos de suelo o cultivos específicos. En este sentido, se cuenta con abundante información experimental sobre el efecto beneficioso de la aplicación de compost y vermicompost de alperujos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, pero se carece de información suficiente sobre el efecto que pueden tener en la producción y contenido de nutrientes en especies hortícolas sensibles a la materia orgánica poco estabilizada, sobre todo en aquellas especies de cultivos intensivos que generan residuos con bajo aporte de humus; y que por consiguiente, necesitan de una aplicación regular de productos orgánicos para mantener la fertilidad del suelo.

Por otro lado, se ha constatado en distintos estudios, que los composts y vermicomposts presentan niveles considerables de nutrientes y sustancias húmicas. De esta manera, el aprovechamiento de extractos orgánicos de composts o la extracción y aplicación de las sustancias húmicas de este tipo de materiales al suelo o en forma de aspersiones foliares, representa otra alternativa práctica para el aprovechamiento de los alperujos como fuente de nutrientes. Pero, con los extractos acuosos obtenidos de compost y vermicompost de alperujos se carece de información experimental suficiente

sobre la influencia que pueden tener sobre el crecimiento y nutrición de cultivos hortícolas. Con las sustancias húmicas las evidencias experimentales indican unos resultados contradictorios. En particular, los efectos positivos en la germinación, crecimiento y en el desarrollo de las plantas se han obtenido en estudios realizados en soluciones nutritivas, en experimentos en vivero o en condiciones de invernadero. En las experiencias realizadas en campo han mostrado efectos poco consistentes sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos o sobre el crecimiento y acumulación de los nutrientes minerales en diferentes plantas cultivadas. Unos resultados que pueden depender tanto de la(s) especies en estudio y las condiciones de suelo, como de las características del material de origen y del reactivo utilizado en la extracción de las sustancias húmicas.

A tenor de lo expuesto anteriormente, en el presente trabajo se planteó como objetivo general estudiar la valoración agrícola de diferentes opciones de aprovechamiento como productos sólidos y líquidos de composts y vermicomposts elaborados a base de alperujos. Para tal fin, se abordaron los siguientes objetivos parciales:

- a) Evaluar el valor como fertilizante nitrogenado y como fuente de materia orgánica de tres composts elaborados a base de alperujos, incluyendo sus efectos en el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en el cultivo de lechuga.
- b) Evaluar el valor fertilizante de un compost de alperujos y un vermicompost, derivado del mismo compost, aplicados a dos dosis a un suelo cultivado con una secuencia de lechuga - espinaca, determinando los efectos en el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en ambos cultivos.
- c) Evaluar la eficacia de la aplicación al suelo de sustancias húmicas líquidas extraídas con reactivos alcalinos (KOH) o con agua de un compost y un vermicompost de alperujos, examinando sus efectos sobre el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en una secuencia de dos cultivos: lechuga - espinaca.
- d) Evaluar la eficacia de la aplicación foliar de sustancias húmicas líquidas extraídas con reactivos alcalinos (KOH) o con agua de un compost y un

- e) vermicompost de alperujos, analizando sus efectos sobre el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en una secuencia de dos cultivos: lechuga - espinaca.
- f) Evaluar la eficacia de la aplicación foliar de extractos acuosos obtenidos de un compost y un vermicompost de alperujos, estudiando sus efectos sobre el crecimiento, producción de biomasa y contenido foliar de nutrientes en una secuencia de cultivos a base de lechuga - espinaca.



INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos, de fibras textiles, de agroenergía y de servicios, derivada del crecimiento acelerado de la poblacional mundial, ha llevado, por un lado, al cambio del uso del suelo y a la explotación intensiva de éste y del agua, con el consiguiente deterioro y degradación de los recursos naturales (FAO, 2005) y, por otro, a la generación de una ingente cantidad de residuos sólidos y líquidos de distintas procedencias: agricultura, ganadería, industria agroalimentaria, actividades urbanas, etc.

En la Unión Europea (UE - 25) se estima una producción anual entre 900 y 1.750 millones de t de residuos, lo que implica que se producen unos 3,8 a 4,1 t de residuos *per cápita* por año, con unos crecimientos estimados del 2 al 5%, y con una tendencia al alza, debido al crecimiento económico y al aumento y diversificación del consumo de la población. De los volúmenes producidos, unos 212 – 251 millones de t anuales corresponden a los residuos urbanos, mientras que unos 50 – 55 millones de t son considerados como residuos peligrosos (datos de 1996 - 2004, EEA, 2007).

A nivel mundial la producción de residuos agrícolas se estima en 9.657 millones de t por año (Lal, 2005). Los residuos orgánicos derivados de las actividades agrícolas representan un potencial importante para la producción de energías alternativas (bioetanol, biodiesel, biogás), son usados para la extracción de sustancias químicas, en la alimentación del ganado y también son una fuente importante de materia orgánica de posible aprovechamiento para mantener la fertilidad del suelo. Los residuos industriales y los derivados de la industria agroalimentaria, si bien son producidos en menores cantidades, en la mayoría de los casos, tienen unas características que los hacen más peligrosos para el medio ambiente, particularmente cuando son vertidos a las corrientes de agua. En este contexto se ubican los residuos orgánicos derivados de la extracción de aceite de oliva, unos residuos que por los volúmenes producidos y por sus efectos contaminantes también han despertado un amplio interés en el ámbito científico y a los que se les han dedicado esfuerzos considerables encaminados a desarrollar diferentes opciones de reutilización, reciclado o para el diseño de tratamientos que permitan disminuir sus efectos contaminantes en el ambiente (Azbar *et al.*, 2004; Nogales, 2005).

1.1. Los residuos de almazara

1.1.1. Origen y problemática

La Unión Europea concentra del 75 al 80% de la producción y el 70% del consumo de aceite de oliva del mundo, siendo España el principal país productor del Mediterráneo, con un 48% de la superficie cultivada de olivo y una producción que en los últimos años ha superado 1 millón de t anuales de aceite (Tabla 1). Sin embargo, entre los principales problemas de las zonas productoras de olivo en España, destaca la edad avanzada de las plantaciones, la baja productividad, la escasa mejora genética del material vegetal, que resulta a la par muy diverso, así como la escasa mecanización del proceso productivo.

Por las cantidades procesadas, la agroindustria del aceite de oliva genera beneficios socioeconómicos importantes en las zonas productoras, pero al mismo tiempo libera diferentes subproductos y residuos contaminantes del medio ambiente, cuyos volúmenes y características dependen del método utilizado para la extracción del aceite. En la actualidad los principales métodos de extracción utilizados son los conocidos como de tres y de dos fases, y en muy baja proporción el sistema tradicional de prensado.

Tabla 1. Valor económico, producción y consumo del aceite de oliva

		Mundo ^{1/}	Europa ^{1/}	España ^{1/}
Superficie cultivada de olivo	(ha)	8.168.590,64	4.567.628,91	2.261.014,82
Producción de aceitunas	(Mt)	14.648.014,09	10.314.636,00	4.639.466,45
Aceite de oliva	(t)	2.500.000,00	1.913.522,00 ^{2/}	830.523,00 ^{2/}
Valor de exportaciones de aceite de oliva	(1000\$)	2.313.881,36	180.371,36	886.145,55
Valor de exportaciones de aceite de orujo	(1000\$)	112.428,18	102.667,73	23.049,55
Consumo per cápita de aceite	(kg/año)	0,4	2,3	11,3

^{1/} FAO Stat 2004, promedio de 1994 a 2004. ^{2/} European Comision DGA, promedio 1994 a 2002

1.1.2. Sistemas de extracción del aceite y tipos de residuos producidos en las almazaras

El sistema de extracción del aceite de tres fases es un sistema que a partir de 1970 comenzó a ser utilizado en España en sustitución del sistema tradicional de extracción. Se caracteriza en que separa la pasta de aceituna en tres fracciones: oleosa, acuosa y sólida, y el aceite se obtiene mediante centrifugación de la pasta molida y batida.

La principal desventaja del sistema de tres fases es la gran cantidad de agua que utiliza y la alta producción de la fase acuosa o alpechines, así como los inconvenientes medioambientales de los mismos (Lara, 2000). Los volúmenes obtenidos de alpechines son en proporción de 1 a 1,2 t/t de aceituna transformada. En los países del mediterráneo se estima una producción superior a 30 millones de m³ por año (Casa *et al.*, 2003), y tan solo en España se estiman unos volúmenes anuales de 2,1 millones de m³ (Paredes *et al.*, 1999); sin embargo, actualmente esta cantidad es menor, porque el aceite se extrae cada vez en mayor proporción mediante el sistema de dos fases (Cabrera *et al.*, 2005; Roig *et al.*, 2006).

El sistema de dos fases se implementó a partir de 1992 en España, y es un método que separa la pasta triturada de aceitunas en una fase oleosa y una fase sólida (Roig *et al.*, 2006). Este sistema reduce drásticamente el consumo de agua, y resuelve el problema de la generación de alpechines, pero origina los residuos conocidos como alperujos, en una proporción estimada de unos 800 a 950 kg por t de aceituna. Actualmente, revisten una gran importancia porque el aceite obtenido por el sistema de dos fases alcanza más de un 95 % de la producción total (Roig *et al.*, 2006), estimándose una generación de más de 4 millones de t anuales de alperujos en España (Albuquerque *et al.*, 2004).

Los alpechines se caracterizan porque son residuos líquidos que están constituidos por pulpa de oliva, mucílago, pectina y aceite en emulsión, muestran un pH ácido, una conductividad eléctrica elevada y un contenido importante de potasio, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y hierro, así como sustancias orgánicas tales como pectinas, grasas, proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, polialcoholes, pero con un alto contenido de polifenoles (de 0,9 a 24 g/L), que son potencialmente fitotóxicos (Jung *et al.*, 2003). Asimismo, los

alpechines disminuyen la actividad biológica, debido a su actividad antimicrobiana y son resistentes a la degradación biológica (Cabrera *et al.*, 1996; Paredes *et al.*, 1999; Aktas *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2001; Casa *et al.*, 2003; Hadrami *et al.*, 2004; Hafidi *et al.*, 2005) (Tabla 2).

Tabla 2. Principales características de los alpechines

Características		Hadrami <i>et al.</i> (2004) ^{1/}	Hafidi <i>et al.</i> (2005) ^{2/}	Komilis <i>et al.</i> (2005) ^{3/}	Paredes <i>et al.</i> (1999) ^{4/}	Paredes <i>et al.</i> (2005) ^{5/}	Sierra <i>et al.</i> (2001) ^{6/}	Vlyssides <i>et al.</i> (2004) ^{7/}
Origen		Sfax y Marraquech	Marraquech	Grecia	España	España	España	
Peso seco	(%)	10,1 - 28,6	.	.	7,19	1,90	.	6,35
Sólidos solubles	(g/L)	25,0 - 37,5	.	30,7	.	.	5,50 - 17,6	.
pH		4,10 - 4,50	4,70	4,80	5,17	5,50	4,50 - 6,00	4,80
Conductividad eléctrica	(S/m)	1,87 - 5,61	1,62	0,88	0,55	0,53	0,80 - 2,20	1,20
Demanda química de oxígeno	(g/L)	255 - 593	161	71,0	.	.	40,0 - 195	93,0
Demanda biológica de oxígeno	(g/L)	3,05 - 3,40	.	21,6	.	.	35,0 - 100	46,0
Carbono orgánico	(g/kg)	.	47,0	.	475	9,20	40,0 - 165	39,8
Nitrógeno total	(g/L o g/kg)	.	0,58	.	8,80	0,20	5,00 - 15,0	0,76
Relación C/N		.	67,4	.	.	46,0	.	.
Fósforo total	(g/L o g/kg)	0,02 - 0,06	0,11	.	1,90	0,10	0,30 - 1,10	0,53
Potasio	(g/L o g/kg)	8,90 - 10,1	.	.	52,4	1,20	2,70 - 7,20	2,37
Calcio	(g/L o g/kg)	0,87 - 1,94	.	.	4,20	.	0,12 - 0,75	0,27
Magnesio	(g/L o g/kg)	0,52 - 0,54	.	.	1,80	.	0,10 - 0,40	44,0
Sodio	(g/L o g/kg)	6,90 - 22,7	.	.	.	.	0,04 - 0,90	0,30
Cloro	(g/L o g/kg)	11,3 - 24,1	.	.	.	.	.	.
Cloruro de sodio	(g/L o g/kg)	18,7 - 39,7	.	.	.	.	.	.
Hierro	(g/L o mg/kg)	0,05 - 0,07	.	.	951	41,0	.	120
Cobre	(g/L o mg/kg)	.	.	.	21,0	1,0	.	6,0
Manganeso	(g/L o mg/kg)	.	.	.	15,0	1,0	.	12,0
Zinc	(g/L o mg/kg)	.	.	.	57,0	4,0	.	12,0
Níquel	(g/L o mg/kg)	.	.	.	.	12,0	.	.
Cromo	(g/L o mg/kg)	.	.	.	.	9,0	.	.
Cadmio	(g/L o mg/kg)	.	.	.	.	8,0	.	.
Plomo	(g/L o mg/kg)	.	.	.	.	1,0	.	.
Proteínas	(g/L)	3,99 - 6,77	.	.	.	.	.	.
Fenoles solubles	(g/L)	0,80 - 5,80	.	.	.	.	.	.
Fenoles totales	(g/L o g/kg)	5,50 - 11,6	4,0	2,60	22,1	.	3,00 - 24,0	10,7

1/ pH y conductividad eléctrica en base a peso seco. 2/ Datos en base a peso seco, datos en g/L. 3/ Datos en g/L, en base a peso fresco de muestras. 4/ Datos en base a peso fresco, materia seca en base a peso fresco, datos en g/kg, micronutrientes en mg/kg, pH y conductividad eléctrica directamente en las muestras. 5/ Datos en base a peso fresco, peso/volumen (g/L), macronutrientes en g/kg, micronutrientes y metales pesados en mg/kg. 6/ Datos en g/L, carbono orgánico expresado como materia orgánica en g/L. 7/ Datos en base a peso fresco en g/L, micronutrientes en mg/L.

Tabla 3. Principales características de los alperujos

Características		Albuquerque	Albuquerque	Cayuela	Cegarra	Ordoñez	Madejón	Saavedra	Tejada y	Baeta
		<i>et al. (2004)</i> ^{1/}	<i>et al. (2006)</i> ^{2/}	(2004) ^{3/}	<i>et al. (2000)</i>	<i>et al. (1999)</i>	<i>et al. (1998)</i>	<i>et al. (2006)</i> ^{7/}	González (2004) a y b ^{8/}	<i>et al. (2005)</i> ^{9/}
Origen		España	España	España	España	España	Italia	España	España	Portugal
Humedad	(%)	64,0	63,9	64,5	64,0	49,6	71,4	62,0	.	61,8
pH		5,32	5,20	5,23	5,50	6,80	5,19	5,80	3,90	4,90
Conductividad eléctrica	(dS/m)	3,42	4,12	5,24	3,47	1,20	2,85	7,20	.	0,18
Materia orgánica	(%)	93,3	94,8	94,3	91,6	60,3	94,5	.	15,0	97,4
Ácidos húmicos	(%)	.	.	.	.	.	.	.	8,70	.
Relación C/N		47,8	57,9	49,3	42,0	32,2	46,6	64,0	.	53,0
Nitrógeno total	(g/kg)	11,4	8,90	11,3	13,5	11,0	9,70	.	10,0	10,5
Fósforo total	(g/kg)	1,20	1,10	0,9	1,4	0,30	1,50	0,8	8,0	.
Potasio	(g/kg)	19,8	25,3	24,3	15,9	29,0	17,1	10,5	40,0	.
Calcio	(g/kg)	4,50	1,70	.	2,30	12,0	4,0	4,50	0,91	.
Magnesio	(g/kg)	1,70	0,80	.	0,9	1,0	0,50	1,20	0,44	.
Sodio	(g/kg)	0,80	.	.	.	0	1	.	.	.
Hierro	(mg/kg)	614	201	526	769	2.600	1.030	419	470	.
Cobre	(mg/kg)	17,0	16,0	17,0	21,0	13,0	138	9,0	<4,9	.
Manganeso	(mg/kg)	16,0	5,0	13,0	20,0	67,0	13,0	12,0	5,4	.
Zinc	(mg/kg)	21,0	13,0	18	27,0	10,0	22,0	10,0	14,0	.
Níquel	(mg/kg)	.	.	< 5	.	.	< 1	.	.	.
Cromo	(mg/kg)	.	.	< 5	.	.	< 1	.	<0,01	.
Cadmio	(mg/kg)	.	.	< 5	.	.	< 1	.	<0,1	.
Plomo	(mg/kg)	.	.	< 5	.	.	< 1	.	<0,01	.
Lignina	(%)	42,6	323	47,5	46,8	.	35,0	21,5	.	41,2
Hemicelulosa	(%)	35,1	356	38,7	.	.	.	15,0	.	.
Celulosa	(%)	19,4	206	17,3	.	.	.	17,2	.	.
Lípidos	(%)	12,1	7,75	18,0	12,7	.	8,60	.	0,03	3,76
Proteínas	(%)	7,20	.	.	.	.	.	.	.	.
Carbohidratos	(%)	9,60	6,30	9,60	10,4	.	.	.	.	.
Fenoles	(%)	1,40	1,61	1,20	0,50	.	.	4,30	2,30	0,54

1 y 2/ Datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto con agua a proporción 1:10 p/v. 3/ Datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto 1:10 p/v en agua., 4,5 y 6/ En Roig *et al.* (2006), 7/ pH en extracto 1:25 en agua p/v. 8/ Datos en base a peso seco, 0,06 % de ácidos fúlvicos, 0,04 % de azúcares. 9/ Lípidos, lignina, fenoles y nitrógeno total en base a peso seco, humedad y materia orgánica en base a peso fresco, pH y conductividad eléctrica en extracto 1:10 p/v en agua ajustado a 25 °C

Los orujos son residuos sólidos con un contenido de agua relativamente bajo, constituidos por restos de pulpa y hueso triturado de aceituna. Sus características dependen del método utilizado para la extracción del aceite. De esta manera los orujos obtenidos por el sistema clásico presentan un contenido graso del 9% y una humedad entre el 25 y 28%, pero en la actualidad se producen en pequeñas cantidades. Los orujos del sistema de tres fases presentan una humedad aproximada del 49% y un contenido graso del 7%.

Los alperujos son residuos semisólidos formados por restos de pulpa y hueso triturado de aceituna, junto con el agua de vegetación, y se caracterizan por tener un contenido graso del 3 al 9%, una humedad comprendida entre el 55 y 75%, y niveles considerables de materia orgánica, potasio, micronutrientes y sustancias húmicas, pero con bajos contenidos en nitrógeno, una elevada relación C/N y altos contenidos de lignina, ácidos grasos y sustancias fenólicas (Albuquerque *et al.*, 2004; Molina *et al.*, 2003; Azbar *et al.*, 2004).

A tenor de los enormes volúmenes producidos de estos residuos, unido a la elevada concentración de carbohidratos, y al alto contenido de humedad que presentan, así como a la variabilidad de sus características, asociadas a los orígenes o regiones de donde se han producido, hacen que la gestión de los mismos resulte compleja y económicamente costosa (Roig *et al.*, 2006).

1.1.3. Alternativas de gestión de los residuos

Entre las principales alternativas para el aprovechamiento de los residuos de almazara a nivel industrial se han desarrollado tecnologías para generar biocombustibles y energía eléctrica. También sirven como subproductos para obtener carbón activado, polifenoles naturales, enzimas, aceite (Azbar *et al.*, 2004) y, pueden asimismo, ser usados como fuente de proteínas en la alimentación animal. Sin embargo, para estos tipos de aprovechamiento, se requiere contar e invertir en infraestructura a nivel industrial y acondicionar los subproductos para que puedan ser procesados.

En el sector agrícola y en zonas con bajo potencial de industrialización, una de las aplicaciones más prácticas de los residuos de almazara obtenidos

con el sistema de tres y dos fases, es su uso como fuente de nutrientes y materia orgánica para la fertilización de los cultivos.

En el caso de los alpechines, la aplicación directa al suelo puede originar efectos negativos en algunos cultivos (Hadrami *et al.*, 2004; Mantzavinou y Kalogerakis, 2005; Casa *et al.*, 2003), por lo que algunos autores han aplicado diferentes técnicas como el tratamiento con cal, H₂O₂, el compostaje, etc., todas ellas encaminadas a disminuir este efecto negativo (Aktas *et al.*, 2001; Casa *et al.*, 2003; Davies *et al.*, 2004; Komilis *et al.*, 2005; Mantzavinou y Kalogerakis, 2005). La estabilización de los alpechines con el compostaje ha resultado beneficiosa sobre el crecimiento de cultivos y en las propiedades físicas y químicas del suelo (Cabrera *et al.*, 2005).

Por otra parte, la aplicación directa de los alperujos al suelo ha promovido efectos positivos en el rendimiento y la calidad del maíz, trigo y arroz (Tejada *et al.*, 2001; Tejada y González, 2003a, 2004a); pero también puede causar efectos fitotóxicos (Aranda *et al.*, 2002; Jung *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2005), y por sus características los alperujos han sido considerados como residuos de difícil degradación, lo que conlleva un bajo ritmo de mineralización, y por tanto una liberación lenta de los nutrientes en el suelo (Ordoñez *et al.*, 1999; Benítez *et al.*, 2000a). El bajo contenido de nitrógeno unido a la elevada relación C/N, pueden alterar la dinámica del nitrógeno en el suelo, y por su contenido de fenoles pueden producir un efecto tóxico en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El compostaje y vermicompostaje de los alperujos es otra alternativa de gestión altamente interesante tanto desde el punto de vista económico como ecológico. Y para mejorar su potencial fertilizante y el proceso de estabilización, así como disminuir sus efectos contaminantes, resulta conveniente la mezcla previa de los alperujos con otros residuos complementarios (Canet *et al.*, 2002).

El compostaje de los residuos previo al tratamiento de vermiestabilización ha resultado una combinación satisfactoria para estabilizar los residuos orgánicos (Singh y Sharma, 2002), y permitió una reducción significativa en el contenido de sólidos volátiles (Frederickson *et al.*, 1997). En este sentido, ambos tratamientos son de suma importancia en el proceso de

estabilización de los residuos de almazara para su posterior aprovechamiento como abono en agricultura.

Otra alternativa para la gestión de los residuos sólidos de almazara, consiste en obtener extractos acuosos o sustancias húmicas de los residuos o de sus composts y vermicomposts, para realizar aplicaciones al suelo o al follaje, con el objetivo de mejorar el estado nutricional, la producción y la calidad de los cultivos.

Los extractos y las sustancias húmicas aportan de manera directa nutrientes y hormonas vegetales fácilmente disponibles para las plantas. En este sentido, en diferentes investigaciones realizadas se ha puesto de manifiesto que los extractos húmicos de composts de diversos residuos o la aplicación foliar con extractos acuosos, producen resultados positivos en la concentración foliar de nutrientes, en el crecimiento y la producción de cultivos, dependiendo de la dilución usada (Walke, 2001; Tejada y González, 2003b, 2004b). Pese a que con los extractos de residuos de almazara o de los composts y vermicomposts de alperujos existen pocos datos experimentales sobre sus efectos en el suelo o en los cultivos hortícolas, con los extractos de composts al obtenerse de materiales estabilizados, con mejores características que los residuos iniciales en cuanto a su concentración de nutrientes y materia orgánica humificada, cabría esperar que presentaran similares o mejores resultados.

Por lo indicado anteriormente, y partiendo de la necesidad de realizar valoraciones agrícolas de los composts y vermicomposts de alperujos, y de los extractos obtenidos de estos materiales, que permitan complementar los antecedentes experimentales y establecer criterios racionales de gestión y uso en especies hortícolas, en el siguiente apartado se realiza una revisión general de la importancia de la materia orgánica en el suelo, así como de los efectos obtenidos en la producción y nutrición de los cultivos en suelos enmendados con composts. Se hace un especial énfasis en los resultados obtenidos en las principales investigaciones realizadas con la utilización de composts y vermicomposts obtenidos a partir de los residuos sólidos de almazara, así como la influencia que han tenido las aplicaciones de extractos derivados de estos residuos sobre las propiedades del suelo, en el crecimiento y en los parámetros nutricionales en las especies vegetales cultivadas.

1.2. La materia orgánica en el suelo

1.2.1. Definición

La materia orgánica del suelo puede definirse como el conjunto de sustancias orgánicas que contienen carbono, y está formada por varias fracciones: activa, humificada, productos de la degradación, y biomasa microbiana. La fracción activa está constituida por compuestos carbonados fácilmente degradables que contienen nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros elementos. Los productos microbianos están constituidos por gomas, mucílagos y constituyentes celulares que también presentan una descomposición rápida. La materia orgánica humificada, por el contrario, se descompone muy lentamente, y está fuertemente unida a la fracción mineral del suelo. En la parte central de este esquema estarían los microorganismos, que intervienen en la transformación de cada una de las fracciones anteriores en dióxido de carbono, biomasa celular y productos microbianos (Schnitzer, 2000).

Los residuos orgánicos, aplicados de forma directa o indirecta al suelo, están constituidos por moléculas tales como celulosa, hemicelulosa, lignina, taninos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc., las cuales son descompuestas de manera física, química y biológica, con la acción de factores climáticos, biológicos y edáficos hasta formar compuestos más sencillos como azúcares, péptidos, aminoácidos, etc. Estos compuestos pueden ser mineralizados por la actividad microbiana o bien pueden llegar a constituir una parte importante de las sustancias húmicas, formadas por polimerización biótica y abiótica de los restos orgánicos incorporados al suelo.

Las sustancias húmicas están constituidas por el conjunto de los ácidos húmicos, los ácido fúlvicos y las huminas (de cuyas características hablaremos posteriormente), representan entre un 60 y un 80% de la materia orgánica del suelo (Hayes y Clapp, 2001), contienen alrededor del 3 al 6% del nitrógeno total, y pueden considerarse como sinónimo del humus o la materia orgánica humificada (Schnitzer, 2000). Este tipo de sustancias son las que le confieren propiedades, características y funciones específicas al suelo. En relación a ello,

Rees *et al.* (2001) indican que la cantidad así como el origen y las características (calidad) de la materia orgánica contenida en el suelo, determinan su capacidad para aportar nutrientes, almacenar agua, resistir a la degradación física, para mantener una actividad biológica alta, así como para mantener su capacidad productiva a través de un manejo agronómico adecuado.

Los modelos conceptuales, la dinámica de los procesos de mineralización y humificación, así como la importancia que tiene la materia orgánica en los suelos y su influencia en los agroecosistemas han sido expuestos detalladamente en los diferentes trabajos escritos sobre el tema (Schnitzer, 2000; Labrador, 1996; Rees *et al.*, 2001; Porta *et al.*, 2003).

1.2.2. Importancia de la materia orgánica en los suelos

Las principales funciones de la materia orgánica en el suelo se relacionan con las mejoras en la aireación, en la estructura y en la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, lo que conlleva a unos efectos favorables en la reducción de la compactación y la erosión del suelo, asimismo favorece una mayor capacidad de intercambio iónico (McRae y Mehuys, 1985; Porta *et al.*, 2003). Además, otro papel fundamental de la materia orgánica es la estimulación del desarrollo de los micro y macroorganismos como bacterias, hongos micorrízicos o lombrices, y es de este modo, una parte esencial del ecosistema, que influye en un gran número de procesos entre los que cabría destacar los ciclos biogeoquímicos, la formación de agregados o la solubilización de los minerales.

Con el mantenimiento de un balance positivo de materia orgánica, como resultado de la mejora de las condiciones físicas, químicas y a través de su influencia sobre la actividad biológica en el suelo, se mantiene la fertilidad del suelo y se alcanzan unas condiciones adecuadas para una producción sostenible de los cultivos. Esta situación sin duda reviste gran importancia de manera particular en la producción ecológica de cultivos o en sistemas con bajo nivel de insumos en forma de fertilizantes minerales.

El nivel de materia orgánica contenida en los suelos suele ser del orden de 1 a 3% (Schnitzer, 2000; Rees *et al.*, 2001; Labrador *et al.*, 2001). En el área mediterránea son conocidos los niveles bajos de materia orgánica existentes en los suelos (Rashid y Ryan, 2004). En estas condiciones y en particular en los sistemas intensivos se estima una pérdida de la materia orgánica (humus) por los procesos de mineralización natural en términos de unos 1.000 a 2.000 kg/ha/año, una situación que se acentúa sobre todo en aquellos sistemas de producción intensiva de cultivos que liberan residuos con bajo grado de lignificación y producción de humus, como en el caso de la lechuga y patata (Pomares y Albiach, 2005).

Bajo las circunstancias ya indicadas se debe tomar conciencia de la importancia y significación ecológica de la materia orgánica, y del creciente interés que tiene la incorporación de restos orgánicos al suelo como una forma adecuada de reutilizar y aprovechar los residuos orgánicos en el reciclado de nutrientes, en la búsqueda de un balance adecuado entre los procesos de humificación, mineralización y la extracción por las cosechas con el aporte de nutrientes minerales y orgánicos, pero con la consiguiente mejora de las características y la productividad de los suelos.

Para alcanzar y mantener un balance positivo de nutrientes y materia orgánica en el suelo, además de incorporar residuos de cosechas, es necesario realizar buenas prácticas agrícolas tales como el mínimo laboreo, la rotación y asociación de cultivos, o la incorporación regular de materiales orgánicos en forma de acolchados orgánicos, de abonos verdes, etc.

1.2.2.1. Los residuos orgánicos en el marco de una agricultura sostenible

El modelo de agricultura desarrollado a partir de la mitad del siglo XX está enfocado hacia una agricultura intensiva, cuyo objetivo principal es obtener el máximo de producción, sin tener en cuenta los recursos naturales necesarios y el impacto ambiental que genera. Algunas técnicas, como la utilización generalizada de los monocultivos, el uso exclusivo de fertilizantes minerales y productos fitosanitarios, la utilización de maquinaria pesada o la quema de los rastrojos y restos de cultivo, han provocado en el suelo una

intensificación de los procesos de degradación, con el subsiguiente deterioro en su calidad y productividad natural.

De acuerdo con los datos publicados por la FAO, un 64% de la superficie total en el mundo se encuentra en condiciones de una ligera a muy severa degradación, provocada en gran parte por la actividad humana. La agricultura, el sobrepastoreo, la deforestación, la industrialización y la sobreexplotación de la vegetación se asocian como las principales causas de este deterioro. Tan sólo para 1990, las estimaciones indicaban que alrededor del 38% de la superficie cultivada en el mundo (528 millones de hectáreas) había sido degradada por el uso de prácticas agrícolas inadecuadas, con un deterioro continuado estimado en unas 5 a 6 millones de hectáreas por año (Rees *et al.*, 2001).

La alta relación positiva que existe entre el contenido de materia orgánica de un suelo y su calidad o capacidad productiva es un hecho constatado en numerosas investigaciones (Smith *et al.*, 1993), de donde se infiere que la aplicación adecuada de residuos orgánicos de alta calidad puede constituir una vía interesante para la regeneración de los suelos degradados o para el mantenimiento duradero de la fertilidad de los suelos. Estas actuaciones permitirían lograr uno de los objetivos básicos de la Agricultura Sostenible, como es atender las necesidades presentes en alimentación para la totalidad de la población mundial, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades (Brundtland, 1987).

El aprovechamiento de los residuos en la agricultura recobra importancia también como una forma de reducir la emisión de gases con efecto invernadero, ya que por un lado, se reduce la emisión de CO₂ a la atmósfera y, por otro, se favorece su captura en forma de biomasa vegetal, materia orgánica, etc. (Hayes y Clapp, 2001; Spaccini *et al.*, 2002; Porta *et al.*, 2003).

El uso y aprovechamiento de los residuos agropecuarios como fuente de materia orgánica en la agricultura se viene practicando desde las antiguas civilizaciones, y los estiércoles de distintos tipos de ganado se han usado normalmente como fuentes de nutrientes y humus en los suelos de cultivo, pero en la actualidad ante la carestía de las enmiendas orgánicas de alta

calidad o debido al aprovechamiento alternativo de los residuos agrícolas en la elaboración de biocombustibles, los productos orgánicos derivados de los residuos urbanos y de la industria agroalimentaria, pueden ser una alternativa al uso tradicional de los estiércoles (Pomares *et al.*, 2005; Pomares y Albiach, 2005) o pueden complementar el uso de los estiércoles y residuos agrícolas en determinadas zonas de producción agropecuaria.

No obstante, con la aplicación directa al suelo de los residuos orgánicos alternativos a los estiércoles también es común que se presenten algunos efectos fitotóxicos, problemas de salinidad, alteraciones en la disponibilidad de nitrógeno o la contaminación con elementos pesados (Maynard, 1996; Obreza y Reader, 1994; Baca *et al.*, 1995; Chaoui *et al.*, 2003), en niveles que dependen, entre otros factores, tanto del tipo como de las características y las dosis aplicadas de los residuos. Una reducción considerable de estos efectos negativos puede lograrse mediante el tratamiento de los referidos residuos con técnicas de compostaje o vermicompostaje.

1.3. El compostaje

1.3.1. Definición y fundamento

El compostaje es un sistema de tratamiento de los residuos orgánicos, con la finalidad de adecuarlos para su aprovechamiento agrícola.

Esencialmente el compostaje es un proceso de degradación controlada de residuos orgánicos que permite obtener un producto estabilizado llamado compost. Aunque existen muchas definiciones sobre el compostaje, la que consideramos más propia en el ámbito agronómico es la establecida por Zucconi y De Bertoldi (1986), según los cuales el compostaje es un proceso bioxidativo controlado, en el que intervienen numerosos microorganismos, que incluye un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido, que evoluciona pasando a través de una fase termofílica y una liberación temporal de fitotoxinas, dando lugar a la producción de CO₂, agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada "compost". Asimismo, el compost puede definirse como un producto estabilizado e higienizado que se obtiene en el proceso de compostaje, el cual es beneficioso para mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas.

1.3.2. Métodos de compostaje

El compostaje es una tecnología muy flexible, susceptible de adaptarse a las circunstancias concurrentes en cada caso, desde pequeños volúmenes de residuos orgánicos (huerto familiar, finca agropecuaria, etc.) hasta las enormes cantidades generadas diariamente en las grandes ciudades.

Existe un cierto número de sistemas de compostaje, que pueden agruparse en abiertos y cerrados. En los sistemas cerrados, la degradación se realiza en el interior de unos reactores sometidos a unas condiciones aeróbicas. Las principales ventajas de estos sistemas radican en la rapidez del proceso y en la reducción de los efectos contaminantes, ya que los gases causantes de los malos olores pueden eliminarse mediante adsorción (biofiltros) o tratamientos químicos. Como principales inconvenientes cabe

indicar tanto el alto coste de adquisición de los equipos, como la dificultad de su mantenimiento.

Los sistemas abiertos son los más económicos y fáciles de gestionar, por lo que están al alcance de cualquier colectivo y, por tanto, son los más utilizados. En este tipo de sistemas, los residuos orgánicos no se depositan en el interior de reactores, más bien se distribuyen en pilas o montones al aire libre o bajo cubierta, y la aireación se realiza con volteos regulares en forma manual o con el uso de maquinaria. También se pueden usar sistemas más tecnificados en pilas estáticas que dispongan de sistemas de inyección o de extracción de aire, con los que se busca acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (Rynk y Richard, 2005).

El uso de pilas con volteos regulares ha resultado ser el método más adecuado para el procesamiento de los residuos sólidos y semisólidos de almazara (Cegarra *et al.*, 2006). Con este método durante el compostaje de los residuos de almazara se han mostrado parámetros de evolución y características aceptables de los productos finales (Canet *et al.*, 2002; García *et al.*, 2003a; Paredes *et al.*, 2005), en unos niveles comparables con los obtenidos en sistemas de pilas estáticas con aire forzado y volteos regulares (Cegarra *et al.*, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006a, 2006b). Éste último si bien es un sistema que acelera la descomposición de los residuos (Cegarra *et al.*, 2006), también requiere de una mayor inversión, que puede encarecer el proceso.

1.3.3. Fases del compostaje

En base a la evolución de las temperaturas, y dependiendo del método usado y de los subproductos a compostar, de manera general, durante el proceso de compostaje son diferenciadas cuatro fases solapadas entre sí.

El proceso de descomposición aerobia de los restos orgánicos se inicia en una fase mesofílica, con la descomposición microbiológica de los compuestos solubles y de elevada disponibilidad (azúcares, aminoácidos), a través de la acción de poblaciones de bacterias y hongos mesófilos. Debido a

que se origina un incremento de la actividad metabólica, como resultado de la biodegradación se produce un incremento gradual de la temperatura hasta alcanzar valores de 40 a 65 °C.

Cuando la temperatura alcanza alrededor de los 40 °C, se desarrollan las poblaciones de bacterias y hongos termófilos, y los primeros actinomicetos, los cuales desarrollan elevadas tasas de degradación. Las bacterias que predominan a 65 °C son las esporuladas como *Bacillus brevis*, *B. circulans*, *B. cuagulans*, *B. licheniformis*, *B. subtilis* y *B. setearothermophilus*, que realizan aproximadamente un 10% de la descomposición (Goyal *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2002; Tuomela *et al.*, 2000). Los principales actinomicetos termotolerantes identificados en esta fase son: *Nocardia spp.*, *Streptomyces rectus*, *S. thermofuscus*, *S. thermovulgaris*, *S. thermoviolaceus*, *Thermoactinomyces vulgaris* y *Thermomonospora*, los cuales son responsables de un 15 – 30% de la descomposición (Paul y Clark, 1996). En esta fase todos los compuestos simples son metabolizados y quedan los más complejos (hemicelulosa, celulosa y lignina), que se degradan a tasas más lentas en las siguientes fases. Por encima de 70 °C disminuye la actividad microbiana. En esta fase es muy importante llevar un seguimiento intenso de la evolución de la temperatura y humedad a diferentes profundidades de las pilas, debido a que son los parámetros principales a tomar en cuenta para realizar los volteos en sistemas abiertos. El volteo regular de los residuos durante esta fase permite prolongar la fase termofílica, así como garantizar una adecuada oxigenación de los mismos, y la descomposición e higienización de los materiales poco degradados, que se hallan en los bordes de la mezcla inicial.

La tercera fase de enfriamiento se produce cuando la fuente de carbono directamente disponible comienza a ser un factor limitante, ocasionando un descenso en la actividad microbiana y en la temperatura. En esta fase predominan los hongos que actúan sobre polímeros, como la lignina y la celulosa, y sobre la biomasa bacteriana. Los hongos son los responsables de la pérdida del 30 al 40% del peso y están implicados en la humificación de los restos orgánicos (Hassen *et al.*, 2001). Los principales hongos identificados en el compostaje son: *Absidia*, *Mucor*, *Allescheria*, *Cheatomium*, *Thermophilum*, *Dactylomyces*, *Talaromyces (Penicillium)*, *Coprinus*, *Lenzites* y *Sporotrichum* (Tuomela *et al.*, 2000).

Por último, en la fase de maduración continúa el proceso de humificación y, al igual que en la fase de enfriamiento, aparecen otros organismos como protozoos, nemátodos, miriápodos, etc. Al final de esta fase se debe obtener un material caracterizado por unos niveles aceptables de humedad, un alto nivel de estabilidad, con un bajo o nulo grado de fitotoxicidad.

1.3.4. Los factores que influyen en el compostaje

Para que el compostaje se desarrolle adecuadamente es imprescindible un buen control de los parámetros determinantes, que son los siguientes:

- Microorganismos: en el compostaje intervienen diversas especies de bacterias, hongos y actinomicetos, cuyas poblaciones se suceden a lo largo de las distintas fases del proceso.
- Humedad: es uno de los principales parámetros a controlar, ya que en los casos en que resulte excesiva, el agua desplazará al aire contenido en los espacios intersticiales dando lugar a reacciones de anaerobiosis, lo que además de reducir la velocidad del proceso, suele generar malos olores. Los niveles óptimos de humedad están comprendidos entre 40 y 60% (Golueke, 1975).
- Temperatura: varía ampliamente a lo largo del compostaje, y resulta también de capital importancia para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso. Un requisito importante es que en la fase termofílica se alcancen temperaturas suficientemente altas (60 – 70 °C), capaces de reducir la población de microorganismos patógenos (higienización).
- Aireación: dado que el compostaje es un proceso de oxidación, resulta imprescindible la presencia de un nivel adecuado de aire y por tanto de oxígeno, para lo cual se recurre al volteo periódico o a la ventilación forzada de las pilas. Cuando la aireación es insuficiente la fracción orgánica se descompone lentamente y de forma anaerobia, originando malos olores, menores temperaturas y un material de mala calidad.
- Tamaño de partícula: dado que la actividad microbiana se desarrolla principalmente en la superficie de las partículas, cuanto mayor es la superficie del sustrato mayor será la rapidez del ataque microbiano. No

obstante, un tamaño muy fino de partícula no es conveniente debido a los riesgos de compactación del sustrato, lo que dificultaría una aireación adecuada. Los tamaños de partículas considerados óptimos oscilan entre 1 y 5 cm (Kiehl, 1985).

- pH: este parámetro afecta a las reacciones enzimáticas, de ahí que sea también un indicador importante de la evolución del compostaje. Las reacciones que más influyen en el pH son las de liberación de CO₂, de ácidos orgánicos y de iones alcalinos.
- Relación C/N: se precisa que en la mezcla inicial este parámetro presente un valor entre 25 y 30. Cuando los residuos del sustrato superan el nivel de 30 denotan unos materiales ricos en carbohidratos y pobre en compuestos nitrogenados, y en tales circunstancias las reacciones biológicas se ralentizan por falta de nitrógeno, mientras que si la relación es inferior a este rango, el nitrógeno puede perderse por volatilización en forma de amoníaco, especialmente a pH alcalino y temperaturas elevadas. En general, se debe garantizar que exista una proporción considerable de nitrógeno disponible y necesario para el desarrollo de la actividad microbiana que interviene en la descomposición de los residuos.
- Naturaleza química del sustrato: la naturaleza de los compuestos estructurales influyen en la velocidad del proceso de degradación. Así, cuando predominan los compuestos bioresistentes (lignina, celulosa, grasas, etc.) la degradación de los residuos es mucho más lenta que cuando predominan los compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Asimismo, el contenido y proporción de los nutrientes esenciales para el metabolismo microbiano (carbono, nitrógeno, fósforo, microelementos, etc.) también presentan una gran influencia en la velocidad del compostaje.

Es de esperar que los residuos de almazara y los residuos usados como complementarios puedan contener los microorganismos necesarios para el compostaje, por lo que no debe ser necesaria la incorporación externa a base de inoculantes microbianos. Sin embargo, en las diferentes investigaciones realizadas sobre el compostaje de los residuos sólidos y semisólidos de almazara, el problema principal ha sido la falta de oxigenación de las capas

más bajas de las pilas, porque se compactan rápidamente debido a la naturaleza pastosa de los mismos. Para minimizar este problema es muy recomendable realizar una mezcla previa de los residuos de almazara con otros restos orgánicos. Entre los principales residuos complementarios utilizados como fuente de carbono están la paja de cereales, los residuos del cultivo de algodón, los residuos de la poda de cítricos y otros frutales; y como fuente de nitrógeno también se han usado el estiércol de diferentes especies de ganado, los biosólidos, etc. Estos materiales funcionan como descompactantes, mejoran las características físicas y químicas, y favorecen una mayor y más rápida desintegración de los residuos sólidos y semisólidos de almazara (Canet *et al.*, 2002; García *et al.*, 2003b; Paredes *et al.*, 2005).

1.3.5. La composición de los composts de alperujos

La mezcla de alperujos con diferentes residuos agrícolas ha permitido obtener composts con características físicas, químicas y biológicas aceptables (Cegarra *et al.*, 2006; Canet *et al.*, 2002; López y Ramírez, 2002; Walker y Bernal, 2004; Albuquerque *et al.*, 2006a) (Tabla 4).

De las diferentes caracterizaciones analíticas de los composts de alperujos, son de resaltar una reducción considerable de los niveles de grasas y sustancias fenólicas (nivel aceptable de fitotoxicidad), un bajo nivel de metales pesados y un contenido considerable de nutrientes en los productos finales. Estas características en su mayoría se han encontrado dentro de los valores establecidos en las normativas vigentes (Real Decreto 824/2005), y permiten considerarlos como enmiendas orgánicas con potencial para ser usados en agricultura (Canet *et al.*, 2002; Cayuela *et al.*, 2004; Cegarra *et al.*, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006a, 2006b). Sin embargo, uno de los inconvenientes habituales ha sido la obtención de materiales con pH ligeramente alcalino, con lo cual al ser aplicados al suelo podrían provocar problemas en la disponibilidad de algunos micronutrientes para las plantas. Para hacer frente a esta situación, Roig *et al.* (2004) recomiendan la incorporación de productos acidificantes como el azufre durante el compostaje.

Tabla 4. Características de los composts producidos a partir de residuos de almazara

Características	Albuquerque <i>et al.</i> (2006) ^{1/}	Cegarra <i>et al.</i> (2006) ^{2/}	Cabrera <i>et al.</i> (2005) ^{3/}	Baeta <i>et al.</i> (2005) ^{4/}	García <i>et al.</i> (2003) ^{5/}	Papafotiou <i>et al.</i> (2004) ^{6/}	Cayuela <i>et al.</i> (2004) ^{7/}	Walker y Bernal (2004) ^{8/}
Origen	España	España	España	Portugal	España	Grecia	España	España
pH	8,49 - 8,99	8,67 - 8,86	7,40 - 8,07	.	7,75 - 8,46	7,58	9,20 - 9,30	9,27
Conductividad eléctrica (dS/m)	2,96- 3,17	4,52 - 4,81	2,71 - 2,96	.	.	8,49	3,10 - 4,20	3,35
Materia orgánica (%)	89,6 - 91,2	79,2 - 81,5	10,6 - 33,8	.	42,3 - 88,3	95,2	34,9 - 46,6	82,5
Relación C/N	20,7 - 21,0	16,6 - 16,8	12,3 - 18,9	17,0 - 18,0	14,1 - 15,5	.	13,8 - 15,0	19,1
Nitrógeno total (g/kg)	22,7 - 23,1	26,2 - 26,3	5,00 - 15,4	.	17,6 - 30,2	16,5	14,0 - 20,0	24,5
NH ₄ ⁺ - N (mg/kg)	178 - 185	114 - 119	.	.	.	.	51,5 - 1.360	150
NH ₃ ⁻ - N (mg/kg)	61,0 - 101	31,0 - 33,0	.	.	.	.	275 - 1.036	.
Fósforo total (g/kg)	1,50 - 1,60	1,90	0,18 - 0,32	.	.	1,0	6,90 - 7,60	2,40
Potasio (g/kg)	36,2 - 37,0	42,5 - 42,7	0,82 - 1,85	.	.	6,80	25,0 - 35,0	26,7
Calcio (g/kg)	9,40 - 11,3	24,0 - 29,7	83,8 - 93,0	.	.	6,30	130 - 159	.
Magnesio (g/kg)	1,90 - 2,30	5,10 - 5,17	4,80 - 8,00	.	.	0,60	15,0 - 18,0	.
Sodio (g/kg)	1,00 - 1,40	4,10	2,10 - 3,00	.	.	0,40	.	1,0
Hierro (mg/kg)	525 - 624	1.365 - 1.468	7.000 - 8.400	.	.	.	6.700 - 8.900	.
Cobre (mg/kg)	24,0 - 33,0	34,0 - 36,0	25,0 - 50,0	.	.	28,4	33,0 - 41,0	.
Manganeso (mg/kg)	38,0 - 44,0	86,0 - 96,0	154 - 374	.	.	.	165 - 209	.
Zinc (mg/kg)	40,0 - 50,0	125 - 138	38,0 - 67,0	.	.	23,4	76,0 - 96,0	.
Lignina (%)	33,9 - 43,0	38,7 - 40,5	.	59,5 - 60,5	14,7 - 23,6	.	.	.
Hemicelulosa (%)	29,1 - 31,4	24,5 - 26,0	.	68,0 - 68,9	6,90 - 13,4	.	.	.
Celulosa (%)	18,8 - 20,8	15,6 - 16,6	.	53,5 - 57,5	5,50 - 16,2	.	.	.
Lípidos (%)	0,66	.	.	0,31 - 0,40	1,10	.	.	.
Carbohidratos (%)	0,87	.	.	.	.	.	.	.
Fenoles (%)	0,33	.	.	0,05 - 0,06	.	.	.	.

1 (a y b)/ En pilas con ventilación forzada y control de temperatura, datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto con agua a proporción 1:10 p/v, mezcla inicial de alperujos más hojas de olivo y urea o alperujos más ramos de vid y urea en proporción 87:12:1 v/v/v. 2/ Una pila con ventilación forzada, volteos mecánicos regulares y control de temperatura y una pila con volteos mecánicos, datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto en agua 1:10, mezcla inicial 90 % de alperujos, 9 % de restos frescos de paja y estiércol de vaca y 1 % de compost maduro de alperujos. 3/ Composts de alpechines deshidratados con residuos del cultivo de algodón y alubias, residuos de poda de olivo y de vid, datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto en agua 1:5 p/v. 4/ Una pila con ventilación forzada y una pila con volteos mecánicos, lípidos, lignina y fenoles en base a peso seco. 5/ Un compost de alperujos y un compost de orujos a partir de mezclas iniciales con hojas de olivo y urea, compostaje en el sistema de pilas estáticas (Rutgers), datos en base a peso seco, pH en extracto 1:10 p/v en agua. 6/ Compost a partir de una mezcla de orujos del sistema de tres fases más hojas de olivo, pH y conductividad eléctrica en extracto 1:2 p/v en agua, datos en base a peso seco. 7/ Tres composts a partir de la mezcla en diferentes proporciones de alperujos y estiércol de oveja (60:40, 40:60 y 50:50), en pilas con volteos mecánicos periódicos, 2,7 - 5,9 % de ácidos húmicos, 1,0 - 1,8 % de ácidos fúlvicos, 102 - 136 mg/kg de boro, humedad del 25,2 al 42,5 %, datos en base a peso seco, pH y conductividad eléctrica en extracto 1:10 p/v en agua, capacidad de intercambio catiónico de 122,8 cmol/kg. 8/ Capacidad de intercambio catiónico 122,8 cmol/kg, datos en base a peso seco, pH en extracto en agua en proporción 1:10 p/v, conductividad eléctrica en extracto acuoso 1:5 p/v.

1.4. El vermicompostaje

1.4.1. Definición y fundamento

El conocimiento sobre las funciones de las lombrices en la descomposición de los residuos orgánicos es muy antiguo. Aristóteles las definió como el intestino de la tierra, pero no es hasta el siglo XIX cuando apareció la primera publicación sobre el papel que desempeñan las lombrices en la transformación del suelo (Delgado *et al.*, 2004).

En la actualidad, las lombrices son utilizadas de manera controlada para descomponer diferentes residuos orgánicos, en un proceso al que se le han asignado diferentes denominaciones tales como vermicompostaje, lombricompostaje o vermiestabilización. De manera generalizada el vermicompostaje es considerado como un proceso de bioxidación y estabilización de materiales orgánicos mediante la acción de lombrices y bacterias. Las lombrices son las encargadas de voltear, airear y fragmentar los materiales orgánicos, y la descomposición de estos materiales se lleva a cabo por la acción enzimática del tracto intestinal de las lombrices, obteniéndose un producto humificado denominado vermicompost.

Las especies de lombrices más utilizadas son las denominadas como *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, debido entre otras razones a que: a) son especies que tienen la capacidad de colonizar diferentes residuos orgánicos, b) toleran amplios intervalos de temperatura y humedad, c) son resistentes y fáciles de manejar, d) presentan una elevada tasa reproductora que les permite colonizar diferentes ambientes ricos en restos orgánicos, y e) su longevidad es muy superior a la de las lombrices comunes (Nogales, 2005).

1.4.2. Métodos de vermicompostaje

La técnica de vermicompostaje es muy flexible y puede ser adaptada a diferentes condiciones de disponibilidad de medios y recursos económicos, así como a los volúmenes disponibles de residuos para procesar.

Los diferentes sistemas de vermicompostaje se basan en colocar los residuos orgánicos en cajas o en contenedores, en montones o pilas de unos 50 cm de altura como máximo, al aire libre o bajo cubierta, inocular con lombrices, y mantener unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y pH durante el proceso (Nogales, 2005).

1.4.3. Fases del vermicompostaje

De acuerdo con Nogales (2005), la tecnología del vermicompostaje consta de tres fases: un pretratamiento que depende del tipo de residuo o residuos a procesar, una fase de digestión o vermicompostaje propiamente dicho, y una fase de afino. Durante la fase de digestión o vermicompostaje pueden distinguirse: a) una subfase hidrolítica, caracterizada por la biodegradación de las sustancias orgánicas más lábiles por los microorganismos presentes en el residuo o por los asociados al tracto intestinal de las lombrices, y b) una subfase de maduración en la cual la actividad hidrolítica desaparece (Benítez *et al.*, 1999).

Durante el desarrollo de las fases del vermicompostaje y al final de este proceso, dependiendo del tipo de residuo o mezcla de residuos, y de las condiciones en las que se haya desarrollado el proceso, es posible observar los siguientes cambios favorables en las características de los residuos: a) reducción de los sólidos volátiles (9 – 12%), b) disminución de la relación C/N, c) reducción o mantenimiento de la actividad enzimática, d) disminución de los niveles de pH, e) disminución de organismos patógenos, f) incrementos en el contenido total de sustancias húmicas, g) aumentos en la cantidad de fósforo, nitrógeno y potasio disponibles, aunque también pueden disminuir los niveles de potasio, calcio y de metales como el hierro, cinc, plomo y cadmio en comparación con los valores observados en el material inicial, h) excelentes niveles de aireación, porosidad, estructura, drenaje, capacidad de almacenamiento de agua, y con un nivel considerable de nutrientes esenciales fácilmente disponibles para las plantas, i) bajos niveles de fitotoxicidad, y j) reducción moderada en los niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina (Benítez

et al., 2002; Singh y Sharma, 2002; Garg *et al.*, 2006; Frederickson *et al.*, 1997).

1.4.4. Los factores que influyen en el vermicompostaje

El vermicompostaje es una tecnología considerada como económicamente viable, de fácil implementación y que en general ofrece múltiples ventajas para el aprovechamiento agrícola de los residuos de almazara. Si bien resulta sencilla, también es necesario tomar en cuenta una serie de parámetros mínimos para que el proceso de vermicompostaje se lleve a cabo de forma eficaz (Nogales, 2005). Estos parámetros son los siguientes:

- La temperatura óptima para el adecuado desarrollo de las lombrices se encuentra entre los 18 y 24 °C. Es muy importante evitar que los residuos se calienten en su degradación, porque puede influir de manera negativa en la colonización del medio.
- El pH del medio debe oscilar entre 5,0 y 8,5.
- La humedad del medio debe encontrarse entre un 80 y 90%, procurando que la humedad se distribuya lo más homogéneamente posible, una falta o un exceso de humedad pueden provocar muerte o migración de las lombrices, ocasionando una menor eficiencia en la degradación de los residuos.
- Los residuos en descomposición deben presentar una conductividad eléctrica inferior a 7 dS/m.
- El nivel de nitrógeno es muy importante para la colonización de los residuos, pero la concentración de amonio no debe superar los 0,5 mg/g.

Por todo esto, las características fisicoquímicas y químicas de los residuos a procesar tienen una importancia preponderante en la capacidad de colonización y desarrollo de las lombrices. En general, resulta necesario destacar el nivel de nutrientes en los residuos y, en particular, los contenidos de nitrógeno y fósforo necesarios para el crecimiento y desarrollo de la población de lombrices.

En relación a los diferentes factores que influyen en el proceso de vermicompostaje, en diferentes investigaciones ha quedado constatado que los orujos secos y los alperujos permiten el crecimiento y la reproducción de las lombrices (Nogales *et al.*, 1999; Labrador *et al.*, 2001; Benítez *et al.*, 2002). Un medio propicio para el vermicompostaje fue obtenido con los orujos secos solos o mezclados con estiércol, y cuando fueron utilizados los orujos semisecos previamente compostados (Moreno *et al.*, 2000). Un medio que también permitió el crecimiento de las lombrices fue obtenido con la mezcla de orujos secos más estiércol en una proporción de 8:1 y 2:1, o cuando los orujos fueron complementados con biosólidos (Nogales *et al.*, 1999). Por el contrario, los orujos húmedos (Moreno *et al.*, 2000) o los alperujos solos, como medio de crecimiento, no fueron adecuados para el vermicompostaje, debido a que disminuyeron el crecimiento y la reproducción de las lombrices (Nogales *et al.*, 1999). En estos resultados influyen tanto los niveles de fitotoxicidad como las características físicas de los residuos, en particular, la consistencia pastosa y de fácil compactación de los residuos semisólidos, que no permiten una adecuada colonización de las lombrices.

A tenor de lo expuesto, es de esperar que la mezcla de los alperujos con otros residuos orgánicos complementarios que aporten nitrógeno y que mejoren las características físicas de los residuos, o el uso de materiales previamente compostados, puedan resultar los materiales más adecuados para la consiguiente obtención de abonos de calidad aceptable para agricultura.

1.4.5. La composición de los vermicomposts de alperujos

Los vermicomposts producidos a partir de residuos de almazara se caracterizan por contar con niveles adecuados de macro y micronutrientes, con un nivel considerable de materia orgánica humificada, así como una baja relación C/N y bajo grado de toxicidad (Nogales *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2000; Benítez *et al.*, 2002, 2004) (Tabla 5).

Tabla 5. Principales características de los vermicomposts producidos a partir de residuos de almazara

Características		Saavedra <i>et al.</i> (2006) ^{1/}	Lánderer <i>et al.</i> (2002) ^{2/}	Benítez <i>et al.</i> (2000) ^{3/}	Benítez <i>et al.</i> (2002) ^{4/}	Benítez <i>et al.</i> (2005) ^{5/}	Labrador <i>et al.</i> (2001) ^{6/}
Humedad	(%)	.	38,6 - 59,0	.	.	.	6,27 - 10,2
pH		8,60	6,46 - 7,55	7,50 - 7,90	7,20 - 8,10	8,10	7,75 - 8,04
Conductividad eléctrica	(dS/m)	3,30	1,76 - 3,59	.	2,20 - 2,40	.	4,30 - 4,90
Materia orgánica	(%)	.	23,3 - 99,4	26,8 - 36,5	.	32,4	89,7 - 93,7
Ácidos húmicos	(g/kg)	19,0	.	.	13,0 - 20,0	13,0	.
Relación C/N		24,0	6,6 - 84,4	14,0 - 18,0	19,0 - 26,0	.	9,70 - 10,92
Nitrógeno total	(g/kg)	.	6,80 - 20,7	17,3 - 19,4	16,0 - 17,0	19,0	17,5 - 19,8
Fósforo total	(g/kg)	2,20	2,90 - 33,6	1,70 - 3,20	.	.	5,60 - 7,10
Potasio	(g/kg)	8,90	1,60 - 5,70	9,00 - 9,80	.	.	14,7 - 16,3
Calcio	(g/kg)	21,5	7,40 - 122	.	.	.	22,0 - 29,6
Magnesio	(g/kg)	5,60	1,10 - 7,89	.	.	.	8,60 - 10,1
Sodio	(g/kg)	.	0,42 - 1,00	.	.	.	0,60 - 0,70
Hierro	(mg/kg)	2.457	1.040 - 12.700	.	.	.	.
Cobre	(mg/kg)	22,0	17,1 - 753	.	.	.	33,7 - 55,2
Manganeso	(mg/kg)	60,0	42,9 - 222	.	.	.	288 - 52,5
Zinc	(mg/kg)	56,0	69,2 - 1.310	.	.	.	45,9 - 48,9
Níquel	(mg/kg)	.	0,60 - 144	.	.	.	.
Cromo	(mg/kg)	.	0,80 - 202	.	.	.	.
Cadmio	(mg/kg)	.	0,30 - 2,00	.	.	.	.
Plomo	(mg/kg)	.	4,00 - 308	.	.	.	.
Lignina	(%)	.	.	.	27,7 - 33,1	27,7	.
Hemicelulosa	(%)	.	.	.	10,8 - 11,0	11,0	.
Celulosa	(%)	.	.	.	14,0 - 15,0	14,0	.
Lípidos	(%)	.	.	.	.	.	0,13 - 0,32
Fenoles	(%)	0,40	.	.	.	.	.

1/Vermicompost de alperujos, pH en extracto 1:25 en agua p/v. 2/ De vermicomposts a partir de siete mezclas de alperujos con diferentes residuos como lodos, paja de arroz, estiércol de conejo y cáscara de almendra, datos en base a peso seco, pH en extracto 1:25 en agua p/v, conductividad eléctrica en extracto 1:5 p/v en agua, materia orgánica oxidable y datos de nitrógeno orgánico. 3 b/ Vermicomposts a partir de orujos secos con biosólidos o con estiércol en proporción 8:1 p/p, pH en extracto 1:2,5 p/v en agua. 4/ Vermicompost de orujos secos y un vermicompost de orujos secos con biosólidos, datos en base a peso seco, 0,3 - 1,1 % de ácidos fúlvicos. 5/ Vermicompost de orujos secos más biosólidos en proporción 8:1 p/p, datos en base a peso seco, pH en extracto 1:2,5 p/v en agua. 6/ Vermicompost de alperujos solos, vermicompost de alperujos con hojas de lavado y vermicompost de alperujos con estiércol de vaca pajoso, pH y conductividad eléctrica en extracto 1:5 p/v en agua

Las características del producto final dependen tanto de las condiciones en las que se desarrolle el proceso como del tipo de residuo utilizado. A este respecto, con el vermicompostaje de orujos secos se observó un escaso efecto de las lombrices sobre la relación C/N, el carbono orgánico total, así como en la concentración final de la lignina, lo que evidencia una baja efectividad del vermicompostaje en la descomposición de la fracción orgánica de los residuos (Benítez *et al.*, 2002). No obstante, diferentes trabajos indican que los productos obtenidos con esta tecnología cumplen con la normativa para ser usados como abonos orgánicos en agricultura convencional o ecológica (Saavedra *et al.*, 2004), pero en otros casos, únicamente la reducción de los niveles de fitotoxicidad de los residuos estimados a través de bioensayos de germinación ha servido para determinar su estabilidad y evidenciar su uso potencial en la agricultura (Benítez *et al.*, 2002).

1.5. Valor agrícola de los composts de alperujos

El valor agrícola de los composts de alperujos viene determinado principalmente por su potencial fertilizante, derivado de su composición en compuestos orgánicos e inorgánicos. No obstante, el aprovechamiento en agricultura de estos productos puede conllevar algunos riesgos potenciales, principalmente de fitotoxicidad por la presencia de polifenoles, grasas y ácidos orgánicos.

De acuerdo con Serna y Pomares (1991), el valor agrícola como fertilizante de los “residuos” y productos orgánicos (composts), puede estimarse mediante:

- a) La caracterización analítica: en la que se determinan los niveles de humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, contenido de nutrientes, metales pesados, patógenos, etc.
- b) La capacidad para la liberación de nutrientes: con incubaciones en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, en ensayos de invernadero o en experimentos en campo.
- c) Análisis de productividad vegetal: en ensayos de invernadero o en campo con plantas indicadoras (césped o maíz), con especies ornamentales, hortícolas o forestales.

Con la caracterización analítica previa y con la valoración agrícola de los composts de alperujos, se deben obtener evidencias experimentales suficientes que garanticen el uso adecuado de los residuos orgánicos o de los productos obtenidos de éstos. En base a los resultados de la caracterización analítica de los composts de alperujos, los materiales a usar como abonos o como enmiendas deben cumplir con las normativas establecidas en cuanto a sus contenidos mínimos de nutrientes o metales pesados que pudieran afectar al desarrollo de los cultivos y la propia salud humana (Real Decreto 824/2005).

El valor fertilizante de los composts se define por la capacidad que tienen de aportar nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio o micronutrientes como el hierro, zinc, manganeso etc., los cuales son muy importantes para el crecimiento, producción y calidad de los cultivos), en buena parte a través de la mineralización de la materia orgánica contenida en el compost. En relación a

los análisis de productividad, el valor agrícola se define en base a los efectos sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos. Este análisis también se realiza mediante ensayos para definir el valor fertilizante por su aporte de nitrógeno o de fósforo en los cultivos o por sus efectos como fuente de humus en las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas de los suelos.

Con la valoración agrícola de los composts elaborados a partir de residuos de almazara han quedado constatados diversos efectos tanto en el suelo como en las especies cultivadas, dependiendo de los tipos de residuos utilizados, así como de las formas y dosis de aplicación. A manera de resumen, en los siguientes apartados se discuten los principales resultados de los estudios referentes a la valoración de los composts elaborados con residuos de almazara como fuentes de nutrientes y de materia orgánica.

1.5.1. Efectos en las propiedades del suelo

1.5.1.1. En las propiedades físicas

Los efectos de los composts sobre las propiedades físicas del suelo han quedado constatados en numerosas investigaciones. A modo de ejemplos cabe indicar las revisiones realizadas por Pinamonti y Sicher (2005) y Celik *et al.* (2004). Las mejoras observadas en estas investigaciones dependieron de las características, los tipos de composts y dosis valoradas, así como de las propiedades y tipo de suelo utilizado.

Los composts elaborados con residuos de almazara también pueden causar mejoras en las propiedades físicas de los suelos. A este respecto, Al-Widyan *et al.* (2005) al aplicar compost de orujos a dosis de 8% (v/v) observaron mejoras en comparación al testigo, sin enmienda, en la infiltración (27 a 36,5%), en la absorción de agua (34,5 a 35%) y en el contenido relativo de agua (10,5 a 16,5%). En otros estudios, las mejoras en las propiedades físicas del suelo originaron aumentos en el rendimiento de trigo abonado con orujos (Brunetti *et al.*, 2005). Unos resultados que contrastan con el efecto negativo en las propiedades físicas de los suelos tratados con productos con elevados contenidos de lípidos o de sodio intercambiable, unas características

que pueden originar un efecto contrario al deseado en la permeabilidad e infiltración del agua en el suelo.

1.5.1.2. En las propiedades fisicoquímicas

La conductividad eléctrica es una medida de la salinidad o cantidad de sales solubles contenidas en un extracto acuoso. Los composts y vermicomposts son materiales que normalmente contienen cantidades significativas de nutrientes en forma de sales solubles. Junto al exceso de salinidad, las elevadas concentraciones de iones de sodio, cloro o boro, y los elevados niveles de $\text{NO}_3\text{-N}$ pueden resultar dañinas (Sullivan y Miller, 2005). Dependiendo del nivel de este tipo de sales, los productos derivados de residuos de almazara, pueden provocar problemas de salinización en el suelo, o en función de la susceptibilidad de la especie pueden manifestar daños foliares así como disminuciones apreciables en el crecimiento y en la producción de las plantas (Walker y Bernal, 2004). A este respecto, los composts elaborados con alpechines aplicados a 60 t/ha aumentaron la conductividad eléctrica del suelo, debido a un aumento en la concentración de sodio y cloro en la solución del suelo (Paredes *et al.*, 2005). Walker y Bernal (2004) también observaron incrementos significativos de salinidad en suelos tratados con 29,9 g/kg de un compost elaborado a partir de una mezcla de alperujos más residuos de algodón, y confirmaron que este efecto estaba asociado a un aumento en la concentración de SO_4^{2-} y en menor medida de Cl^- y NO_3^- en el suelo.

La incorporación al suelo de residuos o productos orgánicos produce mejoras en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), proporcionándole mejor aptitud para retener más nutrientes y así reducir la pérdida de éstos por lixiviación, lo que puede resultar en un uso más eficiente de los nutrientes minerales. En este aspecto, la incorporación al suelo de composts de alpechines a 60 t/ha (Paredes *et al.*, 2005) o los composts de alperujos incorporados al suelo a la dosis de 14 t/ha, manifestaron unas mejoras considerables en la capacidad de intercambio catiónico en comparación con un control sin enmienda (Cayuela *et al.*, 2004), con la consecuente mejora en la fertilidad del suelo.

1.5.1.3. Efectos en las propiedades químicas

En diferentes investigaciones ha quedado constatado que los composts de alpechines contienen materia orgánica humificada, muy resistente a la mineralización, y en trabajos de incubación de muestras de suelo, se constataron incrementos en los niveles de materia orgánica y el contenido total de nitrógeno y potasio, dependiendo del tipo de suelo utilizado (Cabrera *et al.*, 2005).

Con un compost elaborado a partir de la mezcla de 40% de hojas de olivo más 60% de alperujos aportados a las dosis de 66 t/ha, se obtuvieron aumentos apreciables en la disponibilidad de fósforo y potasio, y en el contenido de materia orgánica del suelo (Ehaliotis *et al.*, 2005). De la misma manera, con composts de alperujos incorporados al suelo a la dosis de 14 t/ha, se pusieron en evidencia elevaciones en el contenido de materia orgánica en el orden de un 145 a un 185% (Cayuela *et al.*, 2004). Asimismo, con la aplicación de un compost producido a partir de la mezcla de alperujos más residuos de algodón a la dosis de 20,9 g/kg de suelo, se observaron aumentos significativos en las concentraciones de potasio, magnesio y calcio intercambiable, con incrementos apreciables en la concentración de boro en el suelo (Walker y Bernal, 2004). Por el contrario, en otro experimento en condiciones de campo, la aplicación de 30 t/ha de composts de alperujos no dio lugar a efectos significativos en ninguno de los parámetros del suelo analizados. La explicación de estos resultados es atribuible a la capacidad amortiguadora de los suelos para evitar variaciones en su composición fisicoquímica (Pomares y Albiach, 2005).

1.5.1.4. Efectos en las propiedades biológicas

La aplicación al suelo de materiales orgánicos estabilizados ha producido en muchos casos incrementos en las actividades enzimática y biológica del suelo (Ros *et al.*, 2003; Arancon *et al.*, 2006). En otros casos, la aportación de composts también manifestó un efecto biofumigante, al disminuir la germinación de semillas, la actividad enzimática y las infecciones ocasionadas por nemátodos o por agentes patógenos (*Phythium*, *Fusarium*,

Phytophthora nicotianae y *Verticillium sp.*) (Al-Kahal *et al.*, 2001). Asimismo, los residuos de almazara también provocaron efectos depresivos en la formación de nódulos por *Rhizobium leguminosarum*, y alteraciones en la actividad enzimática del suelo (Al-Kahal *et al.*, 2001). Unos efectos depresivos probablemente asociados a la presencia de sustancias fitotóxicas en los residuos.

1.5.2. Efectos en la nutrición de los cultivos

Los composts de alperujos como abonos orgánicos han puesto de manifiesto su valor como fuente de nutrientes esenciales en la producción de cultivos. Así, la aplicación de composts elaborados con una mezcla inicial de alperujos más residuos de algodón a dosis de 20,9 g/kg de suelo, originó mejoras apreciables en el contenido de potasio y fósforo, y en una mayor relación K:Na en tallos de col (*Brassica oleracea* L.), así como en un efecto residual positivo en el contenido de fósforo en tallos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), y no incrementó los niveles de boro foliar en estas especies (Walker y Bernal, 2004). El efecto positivo en el contenido total de potasio se asoció a una alta relación K:Na, debido a una baja absorción de sodio por la planta. De la misma manera, con la aplicación de 66 t/ha de compost de alperujos se observaron efectos positivos en el contenido de magnesio en hojas de calabacín (*Cucurbita pepo* L.) (Ehaliotis *et al.*, 2005), unos efectos que se relacionaron con el contenido y aporte de estos nutrientes por los residuos de almazara. Sin embargo, en estos estudios también se observaron menores contenidos de nitrógeno, hierro y boro foliar (Ehaliotis *et al.*, 2005) o contenidos de nitrógeno similares al tratamiento control (Walker y Bernal, 2004). Con estas investigaciones se confirma el bajo aporte de nitrógeno característico de los residuos de almazara. En otros ensayos se constató que únicamente la dosis de 100 t/ha de composts de alperujos más fertilización mineral (300 - 150 - 400 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) presentó efectos beneficiosos en el aporte de nitrógeno, así como en unos contenidos aceptables de fósforo y potasio en el cultivo de guisante (*Pisum sativum* L.) (Nogales *et al.*, 2004).

1.5.3. Efectos en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas

Se ha constatado en distintos estudios que la utilización como abono orgánico de los composts elaborados con diferentes residuos puede originar mejoras en el crecimiento (Shiralipour *et al.*, 1996; Stofella y Graetz, 1997), y en el rendimiento de plantas cultivadas (Bevacqua y Mellado, 1993; Maynard, 1994). Con los composts de residuos de almazara también se han puesto en evidencia resultados similares. Así, los composts producidos a partir de la mezcla de los alpechines con residuos de algodón, aplicados a dosis de 30 y 60 t/ha, no resultaron fitotóxicos y dieron rendimientos similares a los obtenidos con fertilización mineral en el cultivo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) (Paredes *et al.*, 2005). En la valoración de los composts de alperujos, Walker y Bernal (2004) observaron incrementos significativos en el tamaño de los tallos de col (*Brassica oleracea* L.), los cuales fueron asociados a una mejora en el contenido de potasio y fósforo total, fuertemente relacionado con un contenido de estos elementos en el compost. Sin embargo, con la aplicación del compost no se mejoró significativamente el peso seco de las plantas de col (*Brassica oleracea* L.), y no se observó un efecto residual importante en el crecimiento de las plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Asimismo, los composts de orujos cubrieron satisfactoriamente la demanda de nutrientes sin presentar efectos tóxicos en el cultivo, pero no aumentaron el rendimiento de calabacín (*Cucurbita pepo* L.) (Ehaliotis *et al.*, 2005). En otros estudios, la aplicación de este tipo de productos se reflejó en un efecto depresivo sobre el crecimiento y desarrollo de flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima* L.) (Papafotiou *et al.*, 2004), algo similar a lo observado en el rendimiento de coliflor (*Brassica oleracea* L.) tratado con compost de alperujos (Pomares, 2004), a lo obtenido con la aplicación de alperujos en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Aranda *et al.*, 2002) o a lo obtenido con dosis crecientes de orujos (1 a 3%) en un cultivo de haba (*Vicia faba* L.) (Al-Kahal *et al.*, 2001). Unos efectos depresivos que también fueron observados con la aplicación de residuos sin compostar, con composts inmaduros e incluso con materiales que habían completado hasta 60 días de maduración (Maynard, 1996; Obreza y Reader, 1994; Baca *et al.*, 1995).

1.6. Valor agrícola de los vermicomposts de alperujos

1.6.1. Efectos en las propiedades del suelo

Los vermicompost elaborados a partir de diferentes residuos orgánicos, al contener niveles considerables de nutrientes disponibles para las plantas, también pueden ser usados como enmiendas o como fertilizantes orgánicos. La valoración agrícola de este tipo de materiales ha puesto en evidencia efectos beneficiosos en las propiedades del suelo, tales como unos mayores niveles de nitrógeno y fósforo total, así como incrementos en la actividad deshidrogenasa y en un mayor contenido de nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo (Arancon *et al.*, 2006). En suelos de pH bajo, los vermicomposts han resultado útiles para reducir la acidez, con el consiguiente efecto beneficioso en la disponibilidad de los nutrientes minerales para las plantas (Yagi *et al.*, 2003). Una de las ventajas asociadas al uso de vermicompost, puede ser el reducido efecto de salinización en el suelo en comparación con la aplicación de los composts (Chaoui *et al.*, 2003), pero también cabría esperar un efecto salino debido al considerable contenido de sales solubles en los vermicomposts, dependiendo en gran medida de las dosis utilizadas (Yagi *et al.*, 2003).

En relación a los parámetros anteriormente indicados, en los diferentes ensayos con vermicomposts elaborados a partir de los residuos de almazara, también se pusieron de manifiesto efectos beneficiosos en las propiedades físicas y químicas como en la actividad biológica y enzimática de los suelos tratados, estas últimas relacionadas con una disminución de la toxicidad de los residuos durante el vermicompostaje, el cual se reflejó en un aumento de un 200 a un 400% en la actividad deshidrogenasa en un suelo incubado con vermicompost a 45,4 g/kg de suelo, en comparación con una alteración negativa de la actividad deshidrogenasa en un suelo incubado con orujos a 34,2 g/kg de suelo (Benítez *et al.*, 2000b, 2004). De la misma manera, se indica que el uso de de estos materiales puede ser una alternativa para reactivar los ciclos de carbono, fósforo y de nitrógeno en los suelos erosionados, por su efecto en la actividad de las enzimas que participan en el ciclo de estos nutrientes (Benítez *et al.*, 2005).

1.6.2. Efectos en la nutrición y en la producción de los cultivos

Está ampliamente documentado que los vermicomposts elaborados con diferentes residuos orgánicos aplicados al suelo mejoran el contenido de nutrientes en diferentes especies cultivadas (Atiyeh *et al.*, 2001; Sains *et al.*, 1998), pero en otros casos también se ha observado una menor absorción de nitrógeno y de hierro (Hashemimajd *et al.*, 2004) o una menor absorción de fósforo y potasio (Chaoui *et al.*, 2003), en comparación con una mayor absorción de nutrientes obtenida con la utilización de los composts.

La combinación de vermicomposts con la fertilización mineral también ha puesto de manifiesto mejoras en el peso y número de frutos, en el crecimiento y el peso de los tallos así como en el rendimiento total y comercial de diferentes especies de hortalizas (Arancon *et al.*, 2004; Hashemimajd *et al.* 2004), y en otros cultivos como el trigo (*Triticum aestivum* L.) (Chaoui *et al.*, 2003); unos resultados que se asociaron a unas mejoras observadas en el estado nutricional de las plantas así como a un posible efecto hormonal.

En la comparación de los orujos secos sin estabilizar o vermicompostados, solos o mezclados con biosólidos o estiércol, aplicados como acolchado orgánico a 15 g/kg de suelo en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), se obtuvieron cambios significativos en el contenido foliar de fósforo y potasio, en niveles que dependieron del tipo de acolchado usado. En este estudio también se obtuvo un mayor número de hojas, área foliar y peso de tallos cuando se usó el acolchado con vermicompost. Los vermicompost además incrementaron la actividad enzimática del suelo, asociada a una disminución del efecto fitotóxico de los residuos (Benítez *et al.*, 2000b).

En los datos presentados por Nogales *et al.* (2004), los composts y vermicomposts de alperujos aplicados a 100 t/ha más fertilización mineral (300 - 150 - 400 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) aportaron hasta un 27 y 29% del nitrógeno total absorbido por las plantas, así como adecuados niveles de fósforo y potasio en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.); unos efectos que contrastan con el bajo aporte de nitrógeno característico de los residuos de almazara. En esta investigación no se indica la influencia de los productos orgánicos sobre los niveles de salinidad en el suelo.

1.7. Los productos orgánicos líquidos

En los cultivos dotados con sistemas de riego localizado es frecuente el uso de productos orgánicos líquidos como los ácidos húmicos y la materia orgánica líquida para mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo, así como la nutrición de los cultivos. Otro tipo de productos líquidos utilizados en agricultura convencional y en la agricultura ecológica son los excrementos líquidos de animales (estiércol semilíquido, orina, etc.), los extractos obtenidos de algas o de residuos vegetales, así como los aminoácidos. También se utilizan los extractos de composts y los denominados té de composts.

Para fines del presente trabajo, se pone mayor énfasis en el efecto de productos orgánicos líquidos en forma de sustancias húmicas aplicadas al suelo o al follaje, y se hace una revisión de los principales efectos que han tenido los extractos acuosos obtenidos de residuos orgánicos o de sus composts.

1.7.1. Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas (SH) son consideradas como una mezcla de macromoléculas de compuestos aromáticos y alifáticos, algunas de estructura molecular relativamente definida y otras de estructura no específica, resultante de la degradación y descomposición microbiana de material biológico muerto (Porta *et al.*, 2003), y que se encuentran de manera natural en el suelo y en el agua. Para su estudio son extraídas del suelo con reactivos alcalinos y son clasificadas por su solubilidad y precipitación a diferentes niveles de pH, como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas (Schnitzer, 2000).

Con el actual avance en el desarrollo de tecnologías y técnicas de estudio, se ha generado un amplio conocimiento en cuanto a la constitución química de las SH, desde el estudio de su composición elemental, hasta el establecimiento de modelos tridimensionales de su estructura, que han facilitado la explicación de las diferentes funciones que desempeñan en el suelo (Schnitzer, 2000).

1.7.1.1. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas

En la extracción de las sustancias húmicas (SH) del suelo se han utilizado diferentes métodos (Kuwatsuka *et al.*, 1992), que en general se basan en una o varias extracciones sucesivas mediante agitación y centrifugación con el uso de compuestos alcalinos, como el NaOH, Na₂CO₃, KOH, Na₄P₂O₇ o con ácidos como el HCl, etc., a unas concentraciones de 0,1 a 0,5 molar en unas relaciones peso:volumen de 1:2 a 1:5, para posteriormente hacer una separación (fraccionamiento) a pH de 1 a 2. En algunos casos son lavadas con agua o HCl, suelen ser purificadas en columnas de resina y/o pueden ser liofilizadas. El uso de las bases fuertes como el hidróxido de sodio o su combinación con pirofosfato de sodio parecen ser las más efectivas para la separación de las SH contenidas en los complejos arcillo-húmicos de los suelos y en menor medida de las sustancias atrapadas entre las láminas de las arcillas expandidas. La separación y solubilidad de las SH solo ocurre una vez que sus cargas saturadas con cationes di y trivalentes (Ca²⁺, Fe³⁺ y Al³⁺) son reemplazados por los cationes monovalentes como el Na⁺ o el K⁺ aportados con los extractantes.

La técnica de estudio por extracción y fraccionamiento de la materia orgánica y, en particular, el uso de bases fuertes tiene los siguientes inconvenientes: a) diversos materiales precipitan a pH ácido pero no son considerados como ácidos húmicos, b) con los extractantes alcalinos la sílice se disuelve de la matriz mineral del suelo y contamina los extractos, c) los componentes estructurales y protoplásmicos de tejidos frescos se disuelven y se mezclan con los extractos, d) las SH son relativamente inestables, debido a que existe una oxidación de componentes orgánicos al entrar en contacto con el aire, y e) suele tener lugar una condensación entre aminoácidos y grupos funcionales de azúcares reducidos (C=O) o de quinonas. Algunos de estos cambios pueden minimizarse con el uso de N₂ durante la extracción, pero no pueden ser evitados por completo (Schnitzer, 2000; Hayes y Clapp, 2001). Como alternativa se han probado extractantes más suaves como EDTA, pirofosfato de sodio en combinación con hidróxido de sodio, y otras sales neutras, así como métodos de purificación con HCl-HF que no han modificado

significativamente la estructura y composición de las sustancias húmicas (Sánchez *et al.*, 2002)

La extracción de las SH también se ha realizado a partir del suelo o de productos orgánicos en suspensión en agua, de la que se separa un producto conocido como SH hidrosolubles (Varanini *et al.*, 1993), unos productos que en realidad pueden tratarse como materia orgánica hidrosoluble, y que después se suelen fraccionar de manera similar a como se hace con las SH del suelo (Harper *et al.*, 2000). Si bien la eficiencia de extracción disminuye, al extraerse con agua se obtienen sustancias de bajo peso molecular, con características menos alteradas como pudiese ocurrir con extractantes alcalinos y más semejantes a como pueden encontrarse de manera natural en los suelos, lo que unido a que con este tipo de sustancias se han obtenido efectos beneficiosos en la nutrición de diferentes cultivos (Varanini *et al.*, 1993; Varanini y Pinton, 2001), es de esperar que tales extractos puedan tener una aplicación práctica en sistemas de producción ecológicos o convencionales.

En el presente trabajo se utilizaron SH extraídas con agua o con KOH de composts elaborados a base de alperujos, y SH comerciales sin pasarlas por sistemas de purificación, bajo el principio de que no se requería de una caracterización específica y un estudio estructural exhaustivo de las sustancias húmicas a utilizar en una valoración agrícola.

1.7.1.2. Sustancias húmicas comerciales

Para su aprovechamiento en agricultura, las SH son normalmente extraídas de diferentes fuentes de materia orgánica tales como lignito, leonardita y turba, pero también pueden obtenerse de compost, vermicomposts, etc. Las SH comerciales se pueden encontrar como productos sólidos o líquidos, y por su origen diverso no tienen una estructura definida y su definición resulta demasiado general (Real Decreto 824/2005). Debido por un lado a la relativa facilidad en la extracción de las sustancias y, por otro, a los efectos beneficiosos que se les han atribuido tanto en el suelo como en el desarrollo de las plantas, en la actualidad, existe una amplia oferta de SH comerciales. En España se comercializan alrededor de 123 productos

denominados como ácidos húmicos líquidos, 70 enmiendas húmicas sólidas y 65 en forma de materia orgánica líquida (De Liñan, 2004).

En diversas investigaciones ha quedado demostrado que la materia orgánica líquida y las SH tienen efectos positivos en el desarrollo radical y en el nivel de producción de cultivos dependiendo de la dosis aplicada y del medio de crecimiento utilizado. Principalmente, han mostrado efectos beneficiosos en solución nutritiva, en sistemas intensivos en invernadero (Alarcón *et al.*, 2003), en plantas en vivero o en estudios en macetas, pero las experiencias realizadas en campo con productos orgánicos líquidos comerciales han mostrado resultados poco consistentes en diferentes especies de hortalizas (Ayas y Gülser, 2005; Pomares, 2004; Pomares *et al.*, 2006) o únicamente han mostrado efectos positivos a dosis de 300 kg/ha (Ayas y Gülser, 2005; Cimrin y Ylmaz, 2005).

A continuación se indican los principales efectos de las SH hidrosolubles o de aquellas obtenidas con extractantes alcalinos. Se pone especial énfasis en los mecanismos de acción que explican los efectos en la nutrición, el crecimiento y la producción obtenidos con las sustancias húmicas líquidas aplicadas al suelo o follaje.

1.7.2. Valor agrícola de la sustancias húmicas

1.7.2.1. Sustancias húmicas aplicadas al suelo

1.7.2.1.1. Efectos en las propiedades del suelo

La importancia de las SH como componentes fundamentales de la materia orgánica del suelo, radica en las funciones y en los efectos directos e indirectos que tienen en el suelo y en la dinámica y conservación de los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas. Estas sustancias originan efectos beneficiosos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, entre las que se pueden mencionar: a) contribución en el mantenimiento de una estructura estable y adecuada, al actuar sobre la formación de agregados del suelo, b) son fuente de nitrógeno, fósforo, azufre, y de micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, al formar

complejos con diferentes metales, los hacen más disponibles para las plantas y para el crecimiento de microorganismos, c) regulan los cambios de pH y actúan en la adsorción, degradación y detoxificación de herbicidas y pesticidas, influyen en general en la fertilidad del suelo y en la fisiología de las plantas (Schnitzer, 2000). Sin embargo, con las aplicaciones de productos comerciales a las dosis usuales no se suelen obtener efectos significativos sobre las propiedades del suelo. En relación a ello, Albiach *et al.* (2000, 2001) al evaluar el efecto de diferentes enmiendas orgánicas, encontraron que productos húmicos comerciales a razón de 100 L/ha no presentaron efectos significativos sobre las propiedades fisicoquímicas, ni en el contenido de biomasa microbiana ni en los niveles de actividad enzimática en un suelo franco-arenoso después de cinco años de estudio; efecto que coincide con lo indicado por Montesinos *et al.* (1997). En otros estudios, sólo dosis muy superiores a 100 L/ha de SH han influido de forma positiva sobre el contenido de materia orgánica en el suelo, pero la aplicación a estas dosis resulta poco viable ecológica y económicamente.

1.7.2.1.2. Efectos en la nutrición, el crecimiento y producción de las plantas

La influencia de las SH sobre la disponibilidad de nutrientes se atribuye a su capacidad para adsorber sustancias orgánicas e inorgánicas (Schnitzer, 2000), y a su aptitud para formar complejos metálicos, debido a su alto contenido de grupos funcionales (Evangelou y Marsi, 2001). Esta capacidad les permite influir sobre las disponibilidad de nutrientes esenciales o de iones tóxicos (Datta *et al.* 2001; Evangelou y Marsi, 2001), y sustenta la influencia de las SH sobre la disponibilidad de fósforo en suelos calcáreos, en los que la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos incrementó la eficiencia de los fertilizantes fosfatados (Delgado *et al.*, 2002), así mismo explica el efecto de los ácidos fúlvicos hidrosolubles sobre la absorción y acumulación de hierro en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) en comparación con el uso de FeCl_3 (Pandeya *et al.*, 1998).

La disponibilidad y la absorción de nutrientes (fósforo, hierro, etc.) también se ve incrementada con la aplicación de SH de bajo peso molecular

(algunas de carácter hidrosoluble), debido a que pueden modificar la permeabilidad de la membrana plasmática o al modificar el pH pueden estimular la acción de enzimas como la ATPasa (Varanini *et al.*, 1993; Pinton *et al.*, 1999a), y la actividad de la enzima quelato reductasa Fe (III) de las células radicales (Pinton *et al.*, 1999b; Cesco *et al.*, 2000, 2002). En tanto que el incremento en la absorción de nitrato se explica por una influencia de las SH sobre la transcripción de los genes involucrados en el estímulo de la absorción (Mha2) y transporte (AtNTR1, ZmNrt2) de este nutriente en *Arabidopsis* (Varanini y Pinton, 2001), y en maíz (*Zea mays* L.) tratado con sustancias extraídas de vermicompost con KOH (Quaggiotti *et al.*, 2004).

Chen y Aviad (1990) y Cooper *et al.* (1998) realizaron diferentes investigaciones en las que observaron efectos positivos sobre la absorción de macronutrientes en especies cultivadas, pero en otros casos apreciaron un efecto nulo en la absorción de fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio, o efectos no significativos en la absorción de nitrógeno después de la aplicación de humatos comerciales a dosis de 268 y 803 kg/ha en césped (*Cynodon dactylon* L.). De esta manera, coinciden con Dormar (1975) y Chen y Aviad (1990), al indicar que las SH tienen un efecto promotor de crecimiento escaso en plantas adecuadamente provistas de nutrientes.

Por otro lado, los ácidos húmicos incrementaron el peso fresco y seco del sistema radical en diferentes especies de hortalizas comparadas con plantas que crecieron en soluciones control (David *et al.*, 1994). Harwigsen y Evans (2000) mencionan que el efecto depende de la especie de planta y que únicamente incrementan la longitud de raíces laterales. En otras investigaciones, las SH hidrosolubles o las extraídas con KOH, también aumentaron el peso seco y número de raíces laterales en maíz (*Zea mays* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) (Pinton *et al.*, 1999a, 1999b; Quaggiotti *et al.*, 2004).

Las SH pueden influir de manera directa sobre los procesos metabólicos tales como la respiración, en la síntesis de ácidos nucleicos y en la absorción de nutrientes (Young y Chen, 1997). En condiciones de sequía, incrementaron el crecimiento de tallos y raíces, así como el contenido de agua en hojas de césped (*Poa pratensis* L.) al aumentar significativamente el nivel interno de antioxidantes (α -tocoferol, ácido ascórbico, β -caroteno y la actividad de la

superoxidodismutasa), favoreciendo la adaptación de esta planta a la sequía (Zhang y Schmidt, 1999). Las respuestas a las SH también se asocian a su efecto y contenido de sustancias hormonales. Debido a que presentaron actividad similar a la que ejercen las auxinas, giberelinas y citoquininas (Nardi *et al.*, 1994; Casenave *et al.*, 1990), y porque contienen auxinas (Quaggiotti *et al.*, 2004) y cantidades apreciables de compuestos polifenólicos y poliaminas (putrecina, espermidina y espermina) (Young y Chen, 1997). Estas sustancias pueden regular el crecimiento debido a una acción directa como a un incremento de la concentración endógena de las hormonas (Young y Chen, 1997).

Chen *et al.* (2004) indican que para obtener efectos significativos en los parámetros de crecimiento, en la concentración de clorofila, área foliar y altura de las plantas, las concentraciones óptimas de sustancias húmicas obtenidas a partir de compost oscilan entre 35 a 55 mg/L, mientras que las derivadas del suelo oscilan entre 25 y 300 mg/L. En otras investigaciones, las mejores respuestas se observaron a las dosis de 1 a 4 g/kg de suelo tratado con ácidos húmicos obtenidos de compost (Valdrighi *et al.*, 1996) o se ubicaron en el intervalo de 0,25 a 0,5 g/kg mezcladas en el sustrato; pero dosis superiores a 1 g/kg de SH obtenidas de vermicompost disminuyeron gradualmente el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y pepino (*Cucumis sativus* L.) (Lulakis y Petsas, 1995; Zachariakis *et al.*, 2001; Atiyeh *et al.*, 2002b; Arancon *et al.*, 2003), una situación que depende entre otros factores de la especie en cuestión, del medio de cultivo, así como del tipo, procedencia y forma de extracción de las sustancias evaluadas.

La aplicación de ácidos húmicos a dosis de 0, 500, 1.000 y 2.000 mg/kg de suelo a los 30, 60 y 90 días después del transplante en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en macetas presentó un efecto positivo en el crecimiento de las plantas, al aumentar significativamente el diámetro de planta y de talamo, la altura de planta y el número de hojas. Con el incremento gradual en las dosis aplicadas de ácidos húmicos se aumentó significativamente el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro y cinc, y se observó una disminución en el contenido de cadmio, cromo y cobalto. La aplicación a los 30 días presentó los efectos beneficiosos más apreciables en el crecimiento y en el contenido de nutrientes en las plantas de lechuga (Tufenkci *et al.*, 2006).

En condiciones de campo, la aplicación de ácidos húmicos a 0, 100, 200 y 300 kg/ha, incrementó de manera significativa el contenido total de nitrógeno y fósforo por planta, así como el rendimiento total de un cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L. var. Spinoza) (Ayas y Gülser, 2005). También, Cimrin y Ylmaz (2005) al aplicar fósforo y ácidos húmicos a 0, 100, 200 y 300 kg/ha en lechuga (*Lactuca sativa* L.) indican que las dosis de 120 kg/ha de fósforo y de 300 kg/ha de ácidos húmicos comerciales son las más convenientes para mejorar el peso de planta; no obstante, la aplicación de esta dosis tan elevada de ácidos húmicos únicamente aumentó significativamente el contenido de nitrógeno por planta y las tres dosis aplicadas no tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento total. Por el contrario, tras varios años de estudio la aplicación de diferentes sustancias húmicas comerciales al suelo en condiciones de campo no presentó efectos significativos en el rendimiento y en el contenido de nutrientes en diferentes especies de hortalizas (Pomares, 2004; Pomares *et al.*, 2006).

1.7.2.2. La aplicación foliar de las sustancias húmicas

La aplicación foliar con productos orgánicos o minerales ha inducido efectos importantes en el crecimiento, rendimiento y calidad de las especies cultivadas y, de manera particular, resulta una forma efectiva para mejorar el nivel de hierro en cultivos de hojas, de calcio en frutos y de proteínas en cereales (Wójcik, 2004). Pero dicha efectividad depende de factores a considerar para evitar daños fitotóxicos, tales como la concentración y frecuencia de aplicación, el tipo de suelo, el cultivo y la variedad, los sistemas de rotación y de manejo utilizados, así como factores ambientales. Esta técnica ha resultado efectiva cuando existe una baja disponibilidad de un nutriente en el suelo, en suelos con déficit hídrico, y durante el estado reproductivo de las plantas, cuando la actividad radicular disminuye (Wójcik, 2004).

En diferentes investigaciones se han demostrado los efectos beneficiosos de las aspersiones foliares con SH sobre el crecimiento y desarrollo de especies cultivadas (Sladky, 1959, 1965). Los ácidos húmicos a 300 mg del producto comercial por litro en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) incrementaron el peso fresco y seco de tallo, pero dosis

superiores inhibieron el crecimiento y deformaron las hojas. Los ácidos húmicos y fúlvicos también estimularon el crecimiento cuando fueron aplicados al follaje a concentraciones de 50 a 300 mg de producto comercial/L (Chen y Aviad, 1990). Al comparar ambas sustancias, las aspersiones con ácidos fúlvicos resultaron más efectivas que las aplicaciones con ácidos húmicos (Sladky, 1959). En lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero, una aplicación foliar por semana con ácidos húmicos al 1% desde el trasplante a la recolección, mejoró el contenido de nutrientes en hojas, pero el efecto en el crecimiento y rendimiento dependió del cultivar utilizado (Guvenc *et al.*, 1999).

Por el contrario, Cooper *et al.* (1998) indican que las aplicaciones foliares tienen un efecto inconsistente y limitado sobre el enraizamiento y la absorción de nutrientes en diferentes especies hortícolas cultivadas bajo solución nutritiva o en arena. De la misma manera, en experimentos en campo, Delfine *et al.* (2005) encontraron que la fertilización foliar con SH comerciales no resultó una técnica efectiva, debido a que no influyó de manera significativa sobre la actividad fotosintética y conductancia estomática, en el contenido de proteínas y de nutrientes o en la producción de materia seca y el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.). Estos resultados coinciden con los observados por Pomares *et al.* (2006, 2007), quienes constataron que la aplicación foliar al 0,2% de siete SH comerciales no influyó significativamente sobre parámetros de producción en los cultivos de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) y sandía (*Citrullus lanatus* Thunb. sin. *C. vulgaris* Schrad), a pesar de que en esta última se observaron rendimientos ligeramente superiores al control.

1.7.2.3. Las sustancias húmicas de residuos de almazara

Los residuos de almazara presentan un contenido importante de nutrientes y SH. Las SH de estos residuos, al ser de origen vegetal, pueden estar constituidas por sustancias de bajo peso molecular, las cuales pueden ser aplicadas directamente al suelo o por medio de aspersiones foliares, con el propósito de mejorar el estado nutricional de los cultivos. A este respecto, se han realizado caracterizaciones químicas de las SH extraídas de suelos tratados con residuos de almazara, así como de aquellas obtenidas de los compost y vermicompost de estos residuos (Baddi *et al.*, 2003; Benítez *et al.*,

2005; Brunetti *et al.*, 2005). Las SH de residuos de almazara influyeron significativamente en la actividad de enzimas que participan en la reactivación del ciclo de nutrientes y que pueden tener especial interés para la recuperación de suelos degradados (Benítez *et al.*, 2005). Asimismo, existe información bibliográfica sobre la aplicación foliar de alperujos en suspensión en agua, constituidos de nutrientes y sustancias húmicas, con la que se observaron efectos positivos en la acumulación de nutrientes, en el rendimiento y en la calidad de cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) (Tejada y González, 2003b, 2004b), pero se dispone de escasos datos relativos a los efectos que pueden tener las SH derivadas de residuos de almazara sobre el crecimiento y nutrición de los cultivos hortícolas.

1.7.3. Los extractos acuosos de composts

Diver (2002) define un “extracto de compost” como un extracto acuoso elaborado con compost o vermicompost en suspensión en agua usualmente obtenido por agitación, que puede ser usado como fertilizante líquido por su contenido en nutrientes solubles. El “té de compost” es un extracto de compost, rico y activado con microorganismos, y que es obtenido a partir de composts después de varios días de maceración en agua, mantenido en agitación y oxigenación o colocado en reposo. El té de compost activado con microorganismos usualmente se aplica para controlar enfermedades ocasionadas por hongos en el sistema radical o en la parte foliar de los cultivos, y en menor medida para mejorar el estado nutricional de las plantas. La efectividad de este tipo de productos está en función de la edad del compost y la naturaleza de los residuos o ingredientes de origen (Labrador, 1996).

1.7.3.1. La aplicación de extractos acuosos al suelo

Los extractos de composts están constituidos por sustancias orgánicas y nutrientes minerales disueltos y fácilmente disponibles para las plantas (Janzen *et al.*, 1995; Walke, 2001; Gramss *et al.*, 2003). Este tipo de extractos aplicados al suelo a razón de 5, 10, 11 y 50 µg C/ml de agua influyeron en la actividad biológica del suelo y favorecieron el desarrollo de microorganismos

que intervienen en los ciclos de los nutrientes; en particular promovieron una mayor población de microorganismos reductores de azufre y estimularon la actividad enzimática en el suelo, pero tuvieron nulos efectos en la fijación biológica de nitrógeno (Janzen *et al.*, 1995).

Los mejores resultados se han encontrado con los extractos obtenidos de composts maduros en combinación con la fertilización mineral, con los que se observaron incrementos significativos en el crecimiento de colza (*Brassica napus* L.) bajo solución nutritiva; sin embargo, el efecto promotor de los extractos disminuyó rápidamente a unas proporciones superiores a 1:3 v:v en agua (Keeling *et al.*, 2003). En este mismo sentido, Gramss *et al.* (2003) con extractos de guisante (*Pisum sativum* L.) (9,8 g de peso seco/L de agua) aplicados una sola vez a 0,7 L/kg de suelo en el sistema de riego en diferentes especies cultivadas bajo sistemas de producción ecológica, encontraron que los extractos incrementaron respecto al tratamiento control, el peso fresco de plantas entre un 38 a un 84%. Asimismo, las plantas tratadas con estos extractos presentaron los mayores contenidos de calcio, potasio, magnesio y nitrógeno orgánico, un bajo contenido de arsénico y níquel, así como un alto valor nutritivo.

Los extractos obtenidos de composts de orujos de vid aplicados al suelo, promovieron un mayor rendimiento y mayores acumulaciones de fósforo en cebolla (*Allium cepa* L.), así como un alto nivel de colonización micorrízica y fósforo disponible en el suelo (Linderman y Davis, 2001). De esta manera, el efecto de los extractos sobre el crecimiento y nutrición de los cultivos es usualmente atribuido tanto a su contenido y aportación de nutrientes como de sustancias húmicas, hormonales y otras sustancias (Gramss *et al.*, 2003; Ayanlaja *et al.*, 2001; Keeling *et al.*, 2003).

1.7.3.2. La aplicación foliar de extractos acuosos de composts

Los extractos de compost en aspersiones foliares han resultado interesantes en el control de enfermedades, un efecto que se ha asociado a su contenido en sustancias fenólicas y en otro tipo de ácidos orgánicos, así como a su contenido de microorganismos beneficiosos. En relación a ello, las aspersiones con extractos de composts mantenidos en agitación o en reposo

se han reflejado en un menor daño por *Botrytis*, pero en otros estudios este tipo de productos han dado resultados inconsistentes (Walke, 2004).

Los efectos de las aspersiones foliares sobre la nutrición y el crecimiento de las plantas parece depender tanto de la especie como de las dosis y tipos de productos utilizados para la obtención de los extractos (Alromian y Nassar, 2004; Walke, 2001, 2004). Así, los extractos activados de compost a unas proporciones de 8:1 y 4:1 v:v en agua y aplicados a 1,3 L/m² resultaron más efectivos al aumentar un 24% el rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa*) en comparación con el uso de extractos no activados con microorganismos (Walke, 2004), en tanto que la aspersión con vermicompost en suspensión en agua a unas proporciones de 1:3 y 1:5 v:v en pimiento (*Capsicum annuum* L.) presentó efectos beneficiosos en el contenido de vitamina C y capsicina, así como en la absorción de fósforo, hierro, cinc, cobre y manganeso (Maheswari *et al.*, 2003, 2004); pero con la aplicación foliar de extractos de residuos sólidos urbanos a unas concentraciones de 1, 2 y 3% en arugula (*Eruca versicaria* Subsp. *sativa*) y en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) se obtuvieron similares rendimientos en peso seco que en un control sin tratamiento foliar (Alromian y Nassar, 2004).

1.7.3.3. Extractos acuosos de residuos de almazara

Con la aplicación de extractos derivados del vermicompost de orujos o con el uso de extractos de alperujos después de recibir un tratamiento de lavado o de ser inoculados con *Fusarium*, se obtuvieron efectos positivos en el crecimiento, en el porcentaje y tasa de germinación de semillas, así como en una disminución significativa de la fitotoxicidad de los alperujos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), reflejada en un tamaño de planta superior al tratamiento control (Sainz *et al.*, 2000; Aranda *et al.*, 2002).

Los extractos acuosos de composts de alperujos aplicados a unas proporciones de 1:4 y 1:8 (p/v) en agua resultaron con un efecto inhibitor sobre *Verticillium fungicola* (Preuss) Hassebrauk var. *Fungicola* en el cultivo de champiñón (Gea *et al.*, 2004), y también se reflejaron en efectos positivos en el

control por competición, antibiosis y microparasitismo de patógenos del suelo (Villaescusa, J. 2004).

Por otra parte, se ha comprobado también el efecto beneficioso de la aplicación foliar con alperujos en suspensión en agua a dosis menores de 0,5 cm³/L, con la que se mejoró significativamente la concentración foliar de nutrientes, el rendimiento y la calidad de maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.); no obstante, con dosis superiores a 0,5 cm³/L se obtuvieron ligeros síntomas de fitotoxicidad (Tejada y González, 2003b, 2004b). Esta última técnica resulta una alternativa práctica, sencilla de aplicar, y con potencial para aprovechar y reciclar los nutrientes minerales contenidos en los residuos de almazara.

Los extractos acuosos de los composts aplicados al suelo presentan la ventaja de que no se incorpora la parte sólida que pudiese provocar alteraciones en la disponibilidad del nitrógeno cuando son obtenidos de residuos con una relación C/N elevada o con alto contenido de materiales de difícil degradación. Asimismo, estos materiales pueden aportar nutrientes en formas fácilmente asimilables por las plantas (Gramss *et al.*, 2003), además tienen la ventaja de que pueden disminuir la fitotoxicidad por efecto de dilución (Komilis *et al.*, 2005).

Los extractos de composts pueden estar contaminados con hongos o bacterias dañinas para la salud humana; por ello, es muy importante conocer las restricciones específicas para el uso correcto de los extractos. Las restricciones que pueden tenerse de referencia son las establecidas dependiendo de la enmienda a utilizar para obtener los extractos. Así, las enmiendas orgánicas no deben superar los niveles máximos de *Salmonella*, *Escherichia coli*, y deben estar libres de enterobacteriaceas (Real Decreto 824/2005).

Entre las desventajas del uso de los extractos acuosos, se pueden encontrar la baja homogeneidad en el contenido de nutrientes debida a la naturaleza del material orgánico inicial, y si son aportados al follaje, es conveniente realizar varias aplicaciones con objeto de obtener efectos significativos.



MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Los composts a base de alperujos

2.1.1. Origen y caracterización analítica de los composts

En el presente estudio se utilizaron alperujos proporcionados por la Cooperiva Oleícola Alto Palencia ubicada en Altura Castellón.

Es bien conocido que los alperujos tienen una consistencia pastosa, con características físicas y químicas poco adecuadas para su compostaje sin la adición de otros materiales. Por lo que se decidió su mezcla con diferentes materiales orgánicos que actuaran como descompactantes y simultáneamente aportaran nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. En la Tabla 6 se indican las propiedades de los residuos utilizados y algunas características físicas y químicas de tres de las mezclas utilizadas para transformarlas en los composts utilizados en el presente estudio.

Las pilas de residuos para el compostaje se ubicaron en una parcela del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), situado en Moncada, Valencia, España. La disposición completa sobre el diseño y la construcción del sistema de compostaje, así como el desarrollo y control del proceso se muestran en Canet *et al.* (2002).

Tabla 6. Clases de residuos y características de las mezclas iniciales para el compostaje de los alperujos

Residuos		Proporción inicial de residuos		
		CPI	CPII	CPIII
Alperujos	(%)	58,0	44,5	64,0
Estiércol de conejo	(%)	42,0	44,5	0,0
Estiércol de oveja	(%)	0,0	0,0	36,0
Paja de arroz	(%)	0,0	11,0	0,0
Características de las mezclas de residuos				
Humedad	(%)	0,58	0,51	0,58
Materia orgánica	(%)	87,0	84,9	93,3
Nitrógeno	(%)	1,70	1,65	1,80
Relación C/N		30,0	30,1	30,0

Una vez finalizado el proceso de compostaje, el compost se extendió en pilas de unos 50 cm de altura y se dejó orear durante tres semanas, tras las cuales los productos se ensacaron con objeto de finalizar la fase de maduración. Se tomaron muestras representativas de los composts generados en las diferentes pilas de compostaje, que se prepararon para su posterior análisis químico. Tras proceder a una homogeneización adecuada, se desecaron a 65 °C en estufa con corriente de aire y posteriormente se trituraron con un molino de cuchillas y pasaron por un tamiz de 0,5 mm de malla. Para la determinación de los contenidos en metales pesados se obtuvo una submuestra representativa de cada muestra de compost, siguiendo el método de cuarteos sucesivos y se trituró de forma manual en un mortero de porcelana. Todas las determinaciones analíticas se realizaron al menos por triplicado, utilizando los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994), o pequeñas modificaciones de los mismos.

Los resultados obtenidos en las características químicas y fisicoquímicas de los tres composts utilizados para la evaluación agronómica se muestran en el apartado de resultados.

2.1.2. Valoración agronómica de los composts de alperujos

Para la valoración agronómica de los composts de alperujos se plantearon dos experimentos con objeto de evaluar por separado el valor como fuente de nitrógeno y de materia orgánica. Los respectivos experimentos se desarrollaron en un invernadero del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), dotado de mecanismos para el control de la temperatura y la humedad, durante el período comprendido desde noviembre de 2003 hasta mayo de 2004. La temperatura media registrada durante el transcurso de los experimentos fue de 17,5 °C y la humedad media de 70,5%.



Figura 2. Vista general del IVIA, la parcela y los invernaderos en los que se realizaron las experiencias. Moncada, Valencia (De Google Earth Europe Technologies, 2007)

En ambos experimentos se utilizaron los tres composts de alperujos (CPI, CPII y CPIII) obtenidos a partir de las mezclas descritas en la Tabla 6. En los dos experimentos se emplearon macetas de plástico de 21 cm de diámetro y 17 cm de altura, que se llenaron con 7 kg de suelo de textura franca, cuyas características se exponen en la Tabla 7. La especie vegetal a ensayo fue la lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Inverna.

Tabla 7. Características del suelo utilizado en los experimentos

Características		Media (\pm desviación estándar)
pH	(1:2,5 H ₂ O)	8,40 (\pm 0,08)
Conductividad eléctrica	(dS/m 1:5)	0,20 (\pm 0,00)
Carbono orgánico oxidable	(%)	0,93 (\pm 0,00)
Materia orgánica	(%)	1,60 (\pm 0,00)
Extracto húmico total	(%)	0,04 (\pm 0,00)
Ácido húmico	(%)	0,03 (\pm 0,00)
Ácido fúlvico	(%)	0,01 (\pm 0,00)
Relación E4/E6		4,30 (\pm 0,09)
Relación C/N		9,30
N	(%)	0,10 (\pm 0,00)
P	(mg/kg)	17,0
K	(%)	0,17 (\pm 0,00)
Ca	(%)	5,15 (\pm 0,12)
Mg	(%)	0,18 (\pm 0,00)
Fe	(mg/kg)	1.205 (\pm 48,9)
Zn	(mg/kg)	14,6 (\pm 0,51)
Cu	(mg/kg)	4,34 (\pm 0,02)
Mn	(mg/kg)	27,2 (\pm 1,36)

Determinaciones realizadas por triplicado, utilizando los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994), o pequeñas modificaciones de los mismos

2.1.2.1. Experimento 1. Valoración de los composts derivados de alperujos como fuente de nitrógeno

En un primer experimento se ensayaron cuatro dosis de nitrógeno (50, 100, 150 y 200 kg N/ha) aportados con cada uno de los tres composts CPI, CPII y CPIII, comparándola con las mismas dosis de fertilizante nitrogenado mineral y con un control que no recibió nitrógeno, en un total de 17 tratamientos distribuidos en un diseño de bloques al azar con seis repeticiones por tratamiento. Los tratamientos ensayados fueron los siguientes:

Control: sin nitrógeno mineral
 FM50: 50 kg/ha de nitrógeno mineral
 FM100: 100 kg/ha de nitrógeno mineral
 FM150: 150 kg/ha de nitrógeno mineral
 FM200: 200 kg/ha de nitrógeno mineral

CPI 50: 50 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPI 100: 100 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPI 150: 150 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPI 200: 200 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPII 50: 50 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPII 100: 100 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPII 150: 150 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPII 200: 200 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPIII 50: 50 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPIII 100: 100 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPIII 150: 150 kg/ha de nitrógeno orgánico
 CPIII 200: 200 kg/ha de nitrógeno orgánico

Las dosis aplicadas con los materiales orgánicos se calcularon en base a su contenido de nitrógeno total. Los productos orgánicos a las dosis respectivas se mezclaron de manera homogénea con el suelo de cada maceta antes de la plantación.

En los tratamientos con nitrógeno mineral se aplicaron 185 kg/ha de P₂O₅ y 350 kg/ha de K₂O. En el caso de los tratamientos con nitrógeno aportado con composts, la dosis de fósforo y potasio se ajustó con fertilizantes minerales, aplicando la diferencia en función del aporte realizado por los materiales orgánicos. Como productos minerales se usaron sulfato de amonio, ácido fosfórico y sulfato potásico.

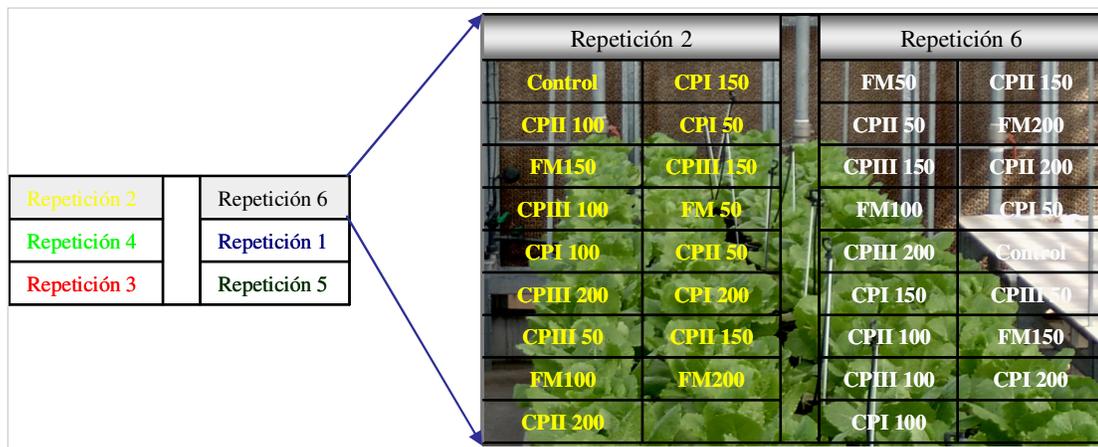


Figura 3. Distribución de los tratamientos en dos repeticiones en el experimento de valoración del nitrógeno de los composts de alperujos, y vista general de los tratamientos

Una vez preparadas con el tratamiento correspondiente, en cada maceta se transplantó una plántula de lechuga cv Inverna de unos 10 cm de longitud. A partir de los 10 días después del trasplante se iniciaron los tratamientos con fertilización mineral, para lo cual los fertilizantes minerales se aplicaron disueltos en el agua de riego, fraccionados de la siguiente manera: a los 10 y 30 días de la plantación se hicieron aplicaciones con el 33,3% de nitrógeno y de potasio junto al 50% del fósforo, y a los 50 días se aplicó el 33,3% de nitrógeno y potasio restante.

2.1.2.2. Experimento 2. Valoración de los composts a base de alperujos como enmienda orgánica

Con el propósito de evaluar el efecto de la materia orgánica (MO) de los composts de alperujos sobre los parámetros de crecimiento, producción y nutrición en lechuga, de manera simultánea y en el mismo invernadero en el que se realizó el experimento 1, en un segundo experimento se estudió el efecto de tres dosis de materia orgánica aportada mediante composts de alperujos. Se incluyeron tres dosis de cada compost (10, 20 y 30 t de MO/ha) y un control sin enmienda orgánica, resultando un total de 10 tratamientos que se distribuyeron en un diseño en bloques al azar con seis repeticiones por tratamiento. Los tratamientos ensayados fueron los siguientes:

C: control sin compost
CPI 10: 10 t MO/ha del compost CPI
CPI 20: 20 t MO/ha del compost CPI
CPI 30: 30 t MO/ha del compost CPI
CPII 10: 10 t MO/ha del compost CPII
CPII 20: 20 t MO/ha del compost CPII
CPII 30: 30 t MO/ha del compost CPII
CPIII 10: 10 t MO/ha del compost CPIII
CPIII 20: 20 t MO/ha del compost CPIII
CPIII 30: 30 t MO/ha del compost CPIII

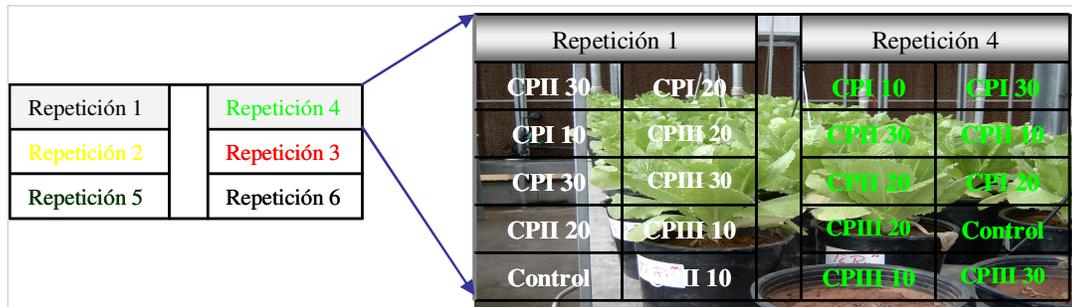


Figura 4. Distribución de los tratamientos en dos repeticiones en el experimento de valoración de la materia orgánica de los composts de alperujos y vista general de los experimentos

Las dosis evaluadas se calcularon en base al porcentaje de material volátil contenido en cada compost. Los materiales orgánicos a las dosis correspondientes se mezclaron de manera homogénea con el suelo de cada maceta antes de la plantación, y una vez preparadas, en cada una de ellas se procedió a establecer una plántula de lechuga cv Inverna de unos 10 cm de longitud. En este ensayo no se aplicó fertilización mineral adicional en ninguno de los tratamientos.

Como parte del manejo del cultivo, en ambos experimentos se aplicó el riego de forma manual, procurando que la humedad del suelo no descendiera por debajo del 65% de la capacidad de campo. Asimismo, todas las macetas se escardaron manualmente durante el crecimiento del cultivo para evitar así competencias.

Las plantas de lechuga en los experimentos 1 y 2 se cortaron a los 90 días después del transplante. En las plantas recién cortadas se determinó el peso, se midió la longitud total, y se determinó la longitud y el peso fresco de tálamo. Las plantas se lavaron cuidadosamente por separado y se colocaron durante 48 horas en una estufa con flujo continuo de aire a 60 °C. Las plantas así secas, se pesaron y se trituraron en un molino de laboratorio. Una vez molidas, se almacenaron para su posterior análisis. Para reducir el trabajo analítico se agruparon cada dos repeticiones en una, obteniendo así un total de tres muestras compuestas por tratamiento. En estas muestras se determinó el contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) y micronutrientes (hierro, cinc, cobre y manganeso). Para preparar las muestras

y para todos los análisis realizados se utilizaron los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura (MAPA, 1994).

A partir del contenido de nutrientes (expresado en % para los macronutrientes y en mg/kg de materia seca para los micronutrientes) y con los datos obtenidos de biomasa seca de los respectivos cultivos, se determinó la absorción de nutrientes en mg por planta.

Con los datos de producción de materia seca por planta y a partir del nitrógeno absorbido por planta se procedió a calcular la eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts (EUN) por el cultivo de la lechuga. Existen al menos cinco formas diferentes de calcular la EUN de un fertilizante (Dobermann *et al.*, 2004; IFA, 2007), denominadas cada una de manera diferente. En el presente estudio se calculó con las siguientes tres fórmulas:

Eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno (EAUN):

$$EAUN = \frac{\text{Producción de MS con N (g/planta)} - \text{Producción de MS sin N (g/planta)}}{\text{N aplicado (g/planta)}}$$

Expresa el incremento en el rendimiento con respecto al control por unida de nitrógeno aplicado (IFA, 2007).

Eficiencia fisiológica de utilización del nitrógeno (EFUN):

$$EFUN = \frac{\text{Producción de MS con N (g/planta)} - \text{Producción de MS sin N (g/planta)}}{\text{N absorbido (g/planta)}}$$

Indica el incremento del rendimiento con respecto al control por unidad de nitrógeno absorbido (Ofori *et al.*, 2005).

Eficiencia de recuperación del nitrógeno (ERN):

$$ERN = \frac{\text{Absorción de N en el cultivo fertilizado} - \text{Absorción de N en el control (g/planta)}}{\text{N aplicado (g/planta)}}$$

Representa el incremento en nitrógeno absorbido por unidad de nitrógeno incorporado, y se expresa como porcentaje o fracción de éste último (IFA, 2007).

2.2. Los vermicomposts a base de alperujos

2.2.1. Origen y caracterización analítica de los vermicomposts

Una vez valorados los composts de alperujos y considerando que podrían mejorarse las características químicas de los mismos, se decidió seleccionar uno de los tres materiales evaluados para procesarlo mediante la técnica del vermicompostaje. Así pues, se seleccionó el compost CPII en base a su menor relación C/N y menor contenido de amonio, por su mayor contenido de nitrógeno y fósforo total, así como por los resultados obtenidos en una evaluación preliminar en un cultivo de lechuga.

Para obtener el vermicompost (VC), se colocaron 99 kg del compost CPII en cajas de plástico, sobre éste se aplicaron 1.000 lombrices (*Eisenia foetida* A.) contenidas en 12 kg de sustrato orgánico. Las cajas así preparadas se mantuvieron protegidas con mallas de plástico a temperatura ambiente de febrero a septiembre de 2003. Durante estos meses, el material orgánico se humedeció periódicamente para favorecer el crecimiento de las lombrices.

Después de un período de siete meses, se procedió a separar las lombrices del material producido, para lo cual el producto se tamizó en una malla de 1 cm, e inmediatamente después se extendió al aire para permitir un secado homogéneo. Una vez seco, se colocó en sacos y se dejó almacenado a temperatura ambiente hasta su utilización. Del material producido, se tomaron muestras representativas para realizar una caracterización analítica del VC. La colecta, el procesamiento y el análisis fisicoquímico de las muestras del VC se realizaron de forma similar a lo efectuado en las muestras de compost, siguiendo los métodos descritos en el apartado de metodologías analíticas. Los análisis se realizaron por triplicado en cada material. Las características del vermicompost se indican en el apartado de resultados.

2.2.2. Valoración agronómica de los vermicomposts

Una vez que se obtuvo y se caracterizó el VC de alperujos, se procedió a comparar el efecto de la aplicación del VC y a evaluar el efecto acumulado de una segunda aplicación sobre la producción y nutrición en cultivos hortícolas. Para ello, de septiembre de 2004 a mayo de 2005 se realizó un experimento en el mismo invernadero utilizado en los experimentos 1 y 2.

2.2.2.1. Experimento 3. Valoración de los vermicomposts como enmienda orgánica

Este experimento se realizó en dos fases consecutivas: la primera con plantas de lechuga y la segunda con plantas de espinaca.

En la primera fase del experimento se utilizó lechuga (*Lactuca sativa*, cv Valladolid) como cultivo indicador. Las plántulas de lechuga de unos 10 cm de altura se transplantaron en macetas de plástico de 21 cm de diámetro y 17 cm de altura, en las que previamente se habían colocado 7 kg de suelo de textura franca mezclado de manera homogénea con materia orgánica aportada con el compost CPII o con el VC (descritos en la Tabla 9), de acuerdo con los tratamientos siguientes: control, sin materia orgánica, VC5, vermicompost a 5 t/ha, VC10, vermicompost a 10 t/ha, C5, compost a 5 t/ha y C10, compost a 10 t/ha. El diseño estadístico seguido fue el de bloques al azar con seis repeticiones de cada tratamiento

A los 65 días después de establecido el primer cultivo, se procedió a cortar las plantas, se vaciaron las macetas y se separaron las raíces del suelo. Posteriormente, con el suelo así limpio, se llenaron nuevamente las macetas y se dejaron listas para establecer un nuevo cultivo.

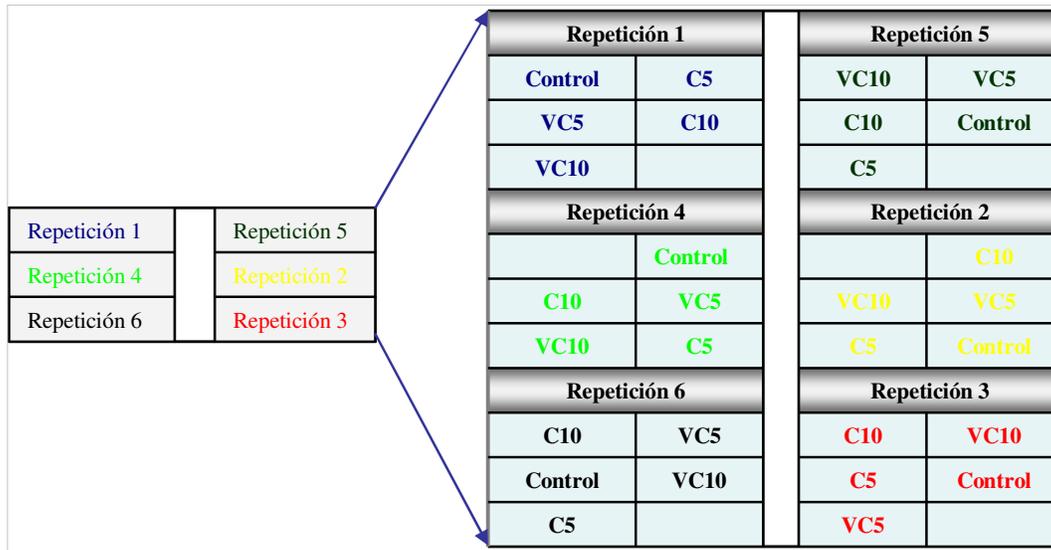


Figura 5. Distribución de los tratamientos en el experimento de valoración del vermicompost de alperujos

En una segunda fase del experimento, con el objetivo de evaluar el efecto acumulado de materia orgánica, en cada maceta preparada se realizó una segunda aplicación con las mismas dosis y productos indicados en el cultivo de lechuga. Una vez preparados los tratamientos correspondientes a cada maceta, se procedió a establecer el siguiente cultivo, colocando en cada una de ellas una plántula de espinaca (*Espinacea oleracea* L. cv Resco F1) con dos hojas verdaderas y de 7 cm de longitud promedio.

El manejo de cultivo fue el mismo en ambas especies, y únicamente consistió en la aplicación de riegos frecuentes y escardas manuales para evitar competencias, de manera similar a como se indicó en el apartado de valoración de composts de alperujos. Las características del suelo utilizado en el experimento se presentan en la Tabla 7. La temperatura media durante el desarrollo del cultivo fue de 18 °C y una humedad media de 75%.

Las plántulas de espinaca se cortaron a los 50 días después del trasplante, y al igual que en lechuga, ninguno de los tratamientos recibió fertilización mineral adicional.

Las plantas recién cortadas de cada cultivo se pesaron y se lavaron cuidadosamente por separado, se midió la longitud total de cada planta, y en lechuga, además, se midió la longitud y se obtuvo el peso fresco y seco de

tálamo. El material limpio se colocó durante 48 horas en una estufa con flujo continuo de aire a 60 °C. Las muestras secas se procesaron para poder determinar su contenido de macro y micronutrientes de manera similar a lo indicado en el experimento 2. Para preparar las muestras y para todos los análisis realizados se utilizaron los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura (MAPA, 1994), indicados en el apartado de metodologías analíticas.

A partir del contenido de nutrientes (expresado en % para los macronutrientes y en mg/kg de materia seca para los micronutrientes) y con los datos obtenidos de biomasa seca de los respectivos cultivos, se determinó la absorción de nutrientes en mg por planta.

2.3. Valoración de los productos líquidos

2.3.1. Las sustancias húmicas de los composts a base de alperujos

2.3.1.1. Experimento 4. Valoración de la aplicación al suelo de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost

De septiembre de 2004 a mayo de 2005, se estableció el experimento 4 para evaluar el efecto de la fertilización al suelo con las SHs con agua o con extracción alcalina del compost CPII y de su vermicompost. Este experimento se realizó en una primera fase con lechuga (*Lactuca sativa*, cv. Valladolid) y, posteriormente, en una segunda fase con espinaca (*Espinacia oleracea* L. cv. Resco F1). Ambas fases del experimento se realizaron en el mismo invernadero que el utilizado en los experimentos anteriores.

Los productos fertilizantes se aplicaron en macetas de plástico de 21 cm de diámetro y 17 cm de altura. En cada maceta con 7 kg de suelo se colocó una planta de lechuga y a partir de los 10 días después del trasplante se evaluó el efecto de fertilización al suelo con SHs. Las SHs que se compararon en los experimentos fueron: extracto húmico total obtenido con agua o con extracción alcalina, ácidos húmicos y fúlvicos obtenidos con extracción alcalina, tanto del compost como del vermicompost. Estos efectos se compararon con un tratamiento control sin SHs y con otros tres tratamientos a base de productos comerciales a las dosis de 12,5 y 25 mg de C/kg de suelo, en un total de 23 tratamientos con 6 repeticiones de cada uno. El diseño experimental usado fue de bloques al azar con seis repeticiones de cada tratamiento. Los tratamientos ensayados se indican a continuación:

Control: sin aplicación de sustancias húmicas

VCEHT H12,5: extracto húmico total extracción con agua de vermicompost a 12,5 mg C/kg

VCEHT H25: extracto húmico total extracción con agua de vermicompost a 25,0 mg C/kg

CEHT H12,5: extracto húmico total extracción con agua de compost a 12,5 mg C/kg

CEHT H25: extracto húmico total extracción con agua de compost a 25,0 mg C/kg

VCEHT KOH12,5: extracto húmico total extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/kg

VCEHT KOH25: extracto húmico total extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/kg

CEHT KOH12,5: extracto húmico total extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/kg

CEHT KOH25: extracto húmico total extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/kg

VCH KOH12,5: ácidos húmicos extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/kg

VCH KOH25: ácidos húmicos extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/kg

CH KOH12,5: ácidos húmicos extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/kg
 CH KOH25: ácidos húmicos extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/kg
 VCEF KOH12,5: ácidos fúlvicos extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/kg
 VCEF KOH25: ácidos fúlvicos extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/kg
 CEF KOH12,5: ácidos fúlvicos extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/kg
 CEF KOH25: ácidos fúlvicos extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/kg
 COM A12,5: producto comercial A a 12,5 mg C/kg
 COM A25: producto comercial A a 25,0 mg C/kg
 COM B12,5: producto comercial B a 12,5 mg C/kg
 COM B25: producto comercial B a 25,0 mg C/kg
 COM C12,5: producto comercial C a 12,5 mg C/kg
 COM C25: producto comercial C a 25,0 mg C/kg

Las características de las SHs utilizadas se presentan en la Tabla 8. La extracción y el análisis químico de estas sustancias se realizaron siguiendo los procedimientos descritos en el apartado de metodologías analíticas. De acuerdo con el contenido de carbono en cada SH separada de las muestras de compost y vermicompost (Tabla 8), se procedió a calcular las dosis correspondientes de los extractos a evaluar y se aplicaron inmediatamente al suelo. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron tres aplicaciones de cada tratamiento a intervalos de 15 días. Las aplicaciones se realizaron disueltas en el agua de riego sobre el suelo de cada maceta.

Tabla 8. Características de las sustancias húmicas valoradas

Sustancia	Producto	pH	CE (dS/m)	Carbono orgánico (%)	N total (%)
Extracto húmico total soluble	Vermicompots	8,00	0,01	0,61	0,57
Extracto húmico total soluble	Compost	7,90	0,02	0,69	0,55
Extracto húmico total alcalino	Vermicompots	12,6	0,17	1,67	0,69
Extracto húmico total alcalino	Compost	12,7	0,17	1,74	0,76
Ácidos húmicos alcalinos	Vermicompots	1,98	0,04	1,34	0,43
Ácidos húmicos alcalinos	Compost	1,92	0,05	1,56	0,52
Ácidos fúlvicos alcalinos	Vermicompots	1,10	0,44	0,25	.
Ácidos fúlvicos alcalinos	Compost	1,10	0,45	0,35	.
Producto comercial A	Natura Vit	10,8	.	16,0	.
Producto comercial B	Vit Humic	7,1	.	26,0	3,0 ^{1/}
Producto comercial C	Gonbas	6,5	.	36,5	.

1) 3,0% de aminoácidos. Producto comercial A extraído de leonardita al 16%, de los cuales 9% de ácidos húmicos más 7% de ácidos fúlvicos. Producto comercial B 26%, de los cuales 10% de ácidos húmicos más 16% de ácidos fúlvicos. Producto comercial C con 20,5% de ácidos fúlvicos.

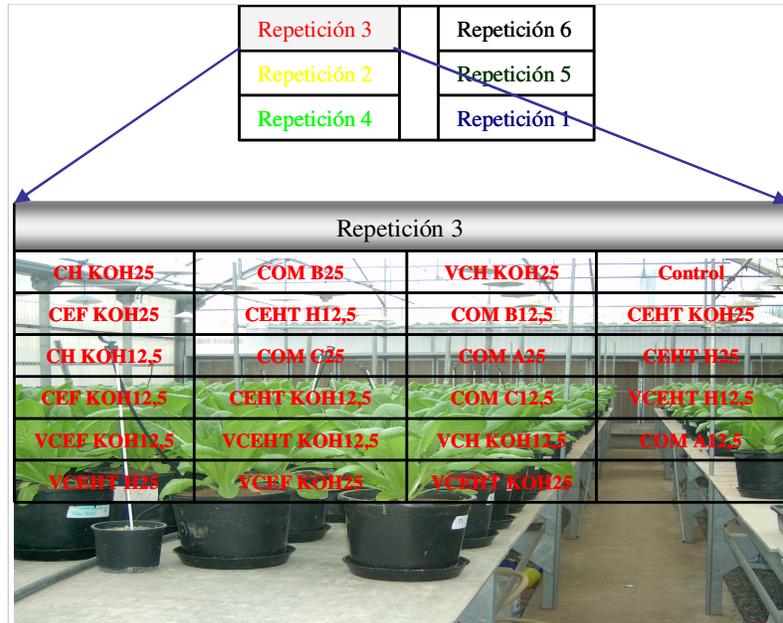


Figura 6. Distribución de los tratamientos en una repetición del experimento sobre la valoración de las sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos aplicadas al suelo

2.3.1.2. Experimento 5. Valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost

En el mismo invernadero y en las mismas condiciones en las que se establecieron los experimentos anteriores, de manera simultánea al experimento 4, se realizó este experimento en el que se valoró el efecto de aspersiones foliares con SHs extraídas con agua o con extracción alcalina del compost CPII y del vermicompost, obtenidas con el método indicado en el apartado de extracción de SHs. El experimento se llevó a cabo en una primera fase con plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*, cv. Valladolid) y, posteriormente, se realizó una segunda valoración de las aplicaciones foliares en el cultivo de espinaca (*Espinacea oleracea* L. cv. Resco F1). Las características del suelo utilizado en las experiencias realizadas se indican en la Tabla 7.

En este experimento, las dosis evaluadas fueron de 12,5 ó 25 mg de C/L. Los efectos se compararon con un tratamiento control asperjado solo con agua destilada y con otros tres tratamientos a base de productos comerciales a

las dosis indicadas, en un total de 23 tratamientos con seis repeticiones de cada uno. Los tratamientos ensayados fueron los siguientes:

Control: sin aplicación de sustancias húmicas

VCEHT H12,5: extracto húmico total extracción con agua de vermicompost a 12,5 mg C/L

VCEHT H25: extracto húmico total extracción con agua de vermicompost a 25,0 mg C/L

CEHT H12,5: extracto húmico total extracción con agua de compost a 12,5 mg C/L

CEHT H25: extracto húmico total extracción con agua de compost a 25,0 mg C/L

VCEHT KOH12,5: extracto húmico total extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/L

VCEHT KOH25: extracto húmico total extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/L

CEHT KOH12,5: extracto húmico total extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/L

CEHT KOH25: extracto húmico total extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/L

VCH KOH12,5: ácidos húmicos extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/L

VCH KOH25: ácidos húmicos extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/L

CH KOH12,5: ácidos húmicos extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/L

CH KOH25: ácidos húmicos extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/L

VCEF KOH12,5: ácidos fúlvicos extracción alcalina de vermicompost a 12,5 mg C/L

VCEF KOH25: ácidos fúlvicos extracción alcalina de vermicompost a 25,0 mg C/L

CEF KOH12,5: ácidos fúlvicos extracción alcalina de compost a 12,5 mg C/L

CEF KOH25: ácidos fúlvicos extracción alcalina de compost a 25,0 mg C/L

COM A12,5: producto comercial A a 12,5 mg C/L

COM A25: producto comercial A a 25,0 mg C/L

COM B12,5: producto comercial B a 12,5 mg C/L

COM B25: producto comercial B a 25,0 mg C/L

COM C12,5: producto comercial C a 12,5 mg C/L

COM C25: producto comercial C a 25,0 mg C/L

Después de 10 días de establecido el primer cultivo, se realizaron tres aplicaciones foliares de cada tratamiento a intervalos de 15 días. Las aplicaciones se realizaron con aspersores manuales a primeras horas de la mañana, dirigiendo la aspersion de manera homogénea sobre las hojas de cada planta en tratamiento hasta alcanzar el punto de goteo.

En los experimento 4 y 5 sobre la valoración de SHs, a los 65 días después de establecido el primer cultivo, se procedió a cortar las plantas de lechuga y posteriormente se estableció el siguiente cultivo con espinacas. En este cultivo se evaluaron los mismos tratamientos e intervalos de aplicación correspondientes a cada experimento, pero únicamente se realizaron dos aplicaciones de cada tratamiento de SHs aplicadas al suelo o al follaje. Las plantas de espinaca se cortaron a los 50 días después del trasplante.

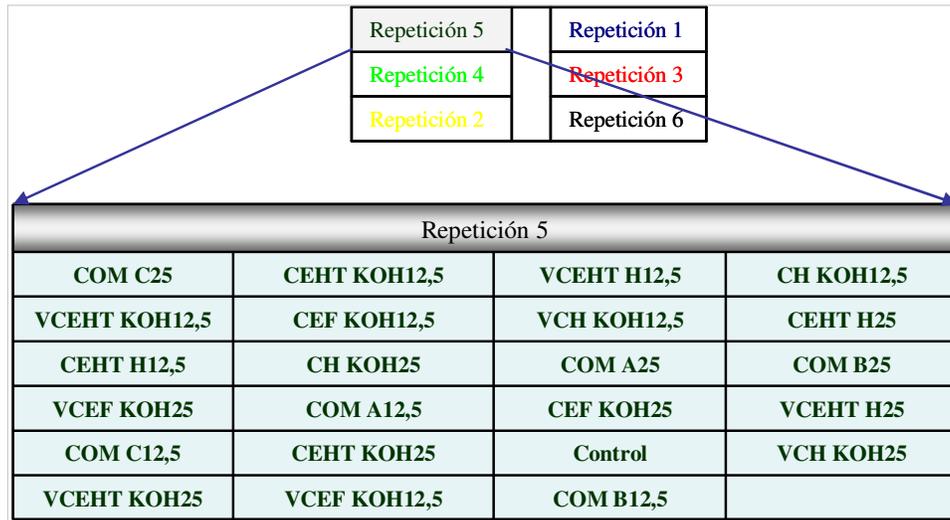


Figura 7. Distribución de los tratamientos en una repetición del experimento sobre la valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos

Las plantas recién cortadas de cada cultivo en los experimentos 4 y 5, se midieron, se pesaron, se lavaron cuidadosamente por separado, se pesaron en seco, y se prepararon para poder proceder a las determinaciones de los contenidos de macro y micronutrientes, de manera similar a lo indicado en los experimentos 1 y 2.

A partir del contenido de nutrientes (expresado en % para los macronutrientes y en mg/kg de materia seca para los micronutrientes) y con los datos obtenidos de biomasa seca de los respectivos cultivos, se determinó la absorción de nutrientes en mg por planta.

2.3.2. Los extractos acuosos de los composts a base de alperujos

2.3.2.1. Experimento 6. Valoración de la aplicación foliar de extractos acuosos de los composts de alperujos

En el mismo invernadero y bajo las mismas condiciones en que se llevaron a cabo los experimentos para valorar el efecto de SHs obtenidas de vermicompost y compost de alperujos, también de manera simultánea a los experimentos 4 y 5, se preparó y se estableció un experimento para evaluar el efecto de aplicaciones foliares con extractos acuosos, elaborados a base del compost CPII y de su vermicompost.

Las características de cada extracto se presentan en la Tabla 9. La extracción y el análisis de los extractos se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en el apartado de metodologías analíticas.

Tabla 9. Características de los extractos acuosos de los composts de alperujos evaluados

Características	Vermicompost (VC)		Compost (C)	
	0,5 g/L	1 g/L	0,5 g/L	1 g/L
pH	7,43 ± 0,071	7,85 ± 0,057	7,32 ± 0,064	7,52 ± 0,028
CE (dS/m)	0,87 ± 0,004	1,27 ± 0,004	1,01 ± 0,010	1,59 ± 0,004
N total (%)	0,02 ± 0,000	0,02 ± 0,000	0,01 ± 0,001	0,02 ± 0,001
P	-	-	-	-
K (%)	0,05 ± 0,000	0,10 ± 0,001	0,07 ± 0,001	0,14 ± 0,001
Ca (%)	0,02 ± 0,000	0,03 ± 0,001	0,02 ± 0,000	0,03 ± 0,000
Mg (%)	0,01 ± 0,000	0,01 ± 0,000	0,01 ± 0,000	0,01 ± 0,000
Fe (ppm)	0,07 ± 0,029	0,10 ± 0,021	0,06 ± 0,367	0,11 ± 0,021
Zn (ppm)	0,02 ± 0,006	0,03 ± 0,006	0,04 ± 0,000	0,04 ± 0,006
Cu (ppm)	0,01 ± 0,006	0,02 ± 0,000	0,01 ± 0,000	0,02 ± 0,000
Mn (ppm)	nd	nd	nd	nd

Medias ± desviación estándar. Promedio de nueve observaciones.

El experimento se realizó de septiembre de 2004 a enero de 2005. En este ensayo sobre cada maceta con 7 kg de suelo se transplató una plántula de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Valladolid), y a partir de los 10 días después del trasplante se evaluó el efecto de las aplicaciones foliares con los extractos acuosos. Los tratamientos evaluados fueron: control sin fertilización foliar, asperjado solo con agua destilada, VC0,5, vermicompost a 0,5 g/L, VC1, vermicompost a 1 g/L, C0,5, compost a 0,5 g/L y, C1, compost a 1 g/L, y se distribuyeron en un diseño en bloques al azar con seis repeticiones por tratamiento (Figura 8). Durante el desarrollo del experimento con lechuga, se realizaron tres aplicaciones foliares de cada tratamiento a intervalos de 15 días. Las aplicaciones se realizaron con aspersores manuales a primeras horas de la mañana, dirigiendo la aspersión de manera homogénea sobre las hojas de cada planta en tratamiento hasta alcanzar punto de goteo.

Las plantas de lechuga se cortaron a los 65 días después de establecido el primer experimento. Posteriormente, se retiraron todas las raíces del suelo de cada maceta. Con el suelo así limpio se llenaron nuevamente las macetas y una vez listas, se transplató una plántula de espinaca (*Spinacea oleracea* cv. Resco F1) en cada una de ellas. En este segundo cultivo fueron evaluados los mismos tratamientos e intervalos de aplicación que en el cultivo de lechuga, indicados en el párrafo anterior. Las plántulas de espinaca se cortaron a los 50 días después del trasplante.

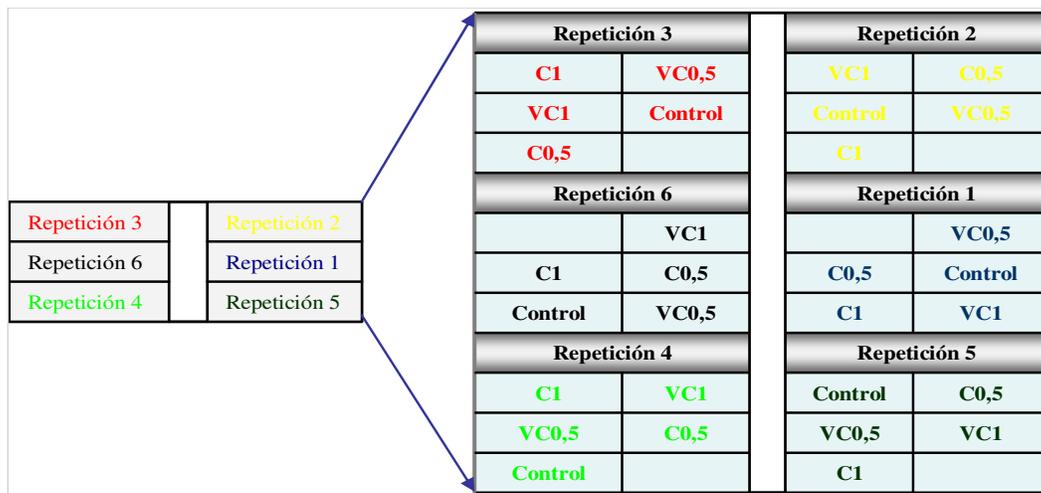


Figura 8. Distribución de los tratamientos en el experimento sobre la valoración de los extractos acuosos de los composts de alperujos

Las plantas recién cortadas en cada cultivo fueron pesadas en fresco, se midieron, se secaron, se procesaron y se realizaron las determinaciones analíticas para conocer el contenido de macro y micronutrientes, de manera similar a lo indicado en los experimentos 1 y 2. El contenido de macronutrientes se expresó en % y el de micronutrientes en mg/kg de materia seca. Con el contenido de nutrientes y con los datos obtenidos de biomasa seca de los respectivos cultivos, se determinó la absorción de nutrientes en mg por planta.

En todos los experimentos con productos líquidos anteriormente descritos, como parte del manejo del cultivo, se aplicaron 200 U. F. de nitrógeno, 185 kg/ha de P_2O_5 y 350 kg/ha de K_2O . Como abonos minerales se usaron sulfato de amonio, ácido fosfórico y sulfato potásico. Los fertilizantes minerales se aplicaron disueltos en el agua de riego, fraccionados de la siguiente manera: a los 10 y 25 días de la plantación se realizaron sendas aplicaciones con el 33,3% de nitrógeno y de potasio junto al 50% del fósforo, y a los 40 días se aplicó el 33,3% de nitrógeno y potasio restante.

El riego en todos los experimentos se aplicó de forma manual, anotando las cantidades añadidas y evitando que la humedad del suelo descendiera por debajo del 65% de la capacidad de campo. Todas las macetas se escardaron manualmente durante el crecimiento del cultivo. Las características del agua utilizada se presentan en el Anejo II.

2.4. Metodologías analíticas

El suelo utilizado y las enmiendas orgánicas valoradas en los experimentos se procesaron siguiendo las metodologías descritas en MAPA (1994). Una proporción de las muestras colectadas y previamente homogeneizadas se secaron en laboratorio al aire libre, una vez secas se molieron y tamizaron en una malla de 2 mm. Las muestras así preparadas se colocaron en botes de plástico en el laboratorio para su análisis. Otra proporción de las muestras de suelo húmedas y homogeneizadas se tamizó en una malla de 5 mm y se utilizó para determinar el porcentaje de humedad.

Las muestras del material vegetal se procesaron como se indica en el experimento 1, siguiendo la metodología indicada en MAPA (1994). Las determinaciones analíticas en muestras procesadas se realizaron al menos por triplicado mediante las metodologías siguientes:

Porcentaje de humedad. El porcentaje de humedad en las enmiendas y en el suelo (en muestras pasadas por un tamiz de 5 mm de luz) utilizado en los ensayos se obtuvo por desecación de las muestras en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Materia orgánica total. La materia orgánica total en las enmiendas se midió por calcinación de las muestras en una mufla a 560 °C durante tres horas. Para ello, se pesaron 2 g de muestra seca y triturada en un crisol de porcelana de 25 ml, previamente tarado y desecado en estufa a 105 °C. Los crisoles preparados se colocaron en una placa calefactora hasta que las muestras dejaron de liberar humos, posteriormente se colocaron en una mufla a 560 °C durante tres horas. Una vez transcurrido este tiempo, los crisoles se colocaron en un desecador y se pesaron con las cenizas para determinar el porcentaje de materia orgánica total mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia orgánica total} = \left(1 - \frac{Pts - T}{Pth - T} \right) \times 100$$

Donde Pts peso del crisol calcinado, Pth peso del crisol seco, T peso del crisol vacío.

Materia orgánica oxidable. La materia orgánica oxidable en las enmiendas y en el suelo se obtuvo por oxidación fría con $K_2Cr_2O_7$ siguiendo el método Walkey-Black. El porcentaje de materia orgánica se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \frac{(Vb - Vm) \times 0,5 \times f \times 0,39}{P} \times 1,724$$

Donde V_b y V_m son los ml de la sal de Mohr gastados en la valoración del blanco y en la muestra respectivamente, f es el factor de la sal de Mohr y P el peso de la muestra en g.

El carbono orgánico oxidable de las sustancias húmicas (extracto húmico total y ácidos húmicos) obtenidas del compost y del vermicompost a base de alperujos se obtuvo por oxidación fría con $K_2Cr_2O_7$, en muestras desecadas en estufa a $65^\circ C$ mediante el método Walkey-Black.

pH. El pH se obtuvo por medición directa en los extractos acuosos y en las sustancias húmicas extraídas de los composts valorados, en el extracto acuoso 1:2,5 en el caso de las enmiendas o en el extracto acuoso 1:5 (p:v) en muestras de suelos, para lo cual se usó el pH-meter Radiometer Copenhagen PHM62 previamente calibrado.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica se obtuvo por medición directa en los extractos acuosos y en las sustancias húmicas extraídas de los composts valorados, en el extracto acuoso 1:5 p:v en el caso de las enmiendas o en el extracto de saturación en muestras de suelo, con el conductímetro Radiometer Copenhagen CDM3, dotado de ajuste de temperatura.

Nitrógeno total. El nitrógeno total en las muestras de suelo, en las enmiendas orgánicas y en las muestras vegetales, se obtuvo con el método Kjeldahl (Bremner, 1965). Para ello, se pesaron las muestras (0,5 g de muestra vegetal, 0,25 g de las enmiendas orgánicas o 0,5 g de suelo, según correspondiera) y se introdujeron en un tubo de digestión al que se añadió una pastilla de catalizador y 10 ml de H_2SO_4 concentrado. Los tubos así preparados se colocaron en un digestor a una temperatura de $420^\circ C$ durante unos 60 minutos hasta que el contenido de los tubos se volvió prácticamente transparente. Una vez terminada la digestión, los tubos se dejaron enfriar y finalmente se les añadieron unos 50 ml de agua destilada. Las muestras preparadas se destilaron en un destilador Tecator (Kjeltec System 1002) en el que automáticamente se añadió a cada muestra unos 10 ml de NaOH al 40%. El destilado se recogió en Erlenmeyers a los que automáticamente se añadieron

25 ml de ácido bórico al 4% con indicadores verde de bromocresol y rojo de metilo. Por último, el destilado de cada muestra se recogió y se valoró con H_2SO_4 (0,5N para las muestras vegetales y de 0,2 o 0,1 en el destilado de las enmiendas). El porcentaje de nitrógeno se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ N} = \frac{14,01 \times (Lm - Lb) \times N}{P \times 10}$$

Donde

Lm: ml del ácido gastado en la muestra

Lb: ml del ácido gastado en el blanco

N: la normalidad del ácido utilizado

P: el peso de la muestra en g

El nitrógeno total de las sustancias húmicas extraídas del compost y del vermicompost se determinó en muestras desecadas en estufa a 65°C por el método Kjeldhal (Bremner, 1965).

P total. En las muestras de suelo, la determinación se realizó siguiendo el método Olsen, según el cual el fósforo se extrae del suelo con NaHCO_3 0,5 N a un pH de 8,5 (MAPA, 1994). Para extraer el fósforo, se pesaron 2,5 g de suelo, se añadió carbón activado y 50 ml de solución extractora de bicarbonato sódico (NaHCO_3 0,5N a pH = 8,5) en un bote de polietileno de 50 cm³. Posteriormente se procedió a agitar el bote durante media hora. Una vez terminada la agitación, se filtró la suspensión a través de un papel de filtro Whatman nº 40 y se añadió más carbón para obtener un filtrado claro. Para la determinación del fósforo se colocó una alícuota de 5 ml de extracto en un vaso de precipitados. A continuación se añadió 5 ml de la solución de molibdato amoníaco. Una vez que terminó el desprendimiento rápido de CO_2 , se procedió a agitar suavemente para mezclar el contenido. A continuación se añadieron 14 ml de agua destilada y 1 ml de la solución diluida de SnCl_2 al vaso y se mezclaron inmediatamente. Por último, se midió la transmitancia de la solución a una longitud de onda 600 nm en un colorímetro 10 minutos después de la adición de la solución de SnCl_2 . El color es estable entre 10 y 30 minutos.

En las enmiendas orgánicas, el contenido de fósforo se determinó mediante el método de azul de molibdeno en alícuotas de 0,5 ml del extracto con HCl 2N de las cenizas de calcinación (A.O.A.C 1975). Para obtener el

extracto se usaron las cenizas de las muestras tratadas para determinar la materia orgánica total. Para esto en cada crisol, conteniendo las cenizas frías de 2 g de muestra y mantenidas en un desecador, se añadieron 10 ml de HCl 2N y se dejaron a reposo durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se filtraron en papel de filtro sin cenizas (Whatman N° 40) y se recogió el filtrado en matraces aforados de 50 ml. Finalmente, se lavó con agua el crisol y el papel filtro unas tres veces y se enrasó el matraz.

En las muestras vegetales, la determinación de fósforo total se realizó por determinación colorimétrica con molibdato sulfúrico e hidroquinona, en alícuotas de 0,5 ml del extracto obtenido tras la digestión de la muestra vegetal con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$, siguiendo la metodología descrita por Chapman y Pratt (1961). Para ello, en primer lugar se pesaron de 0,5 a 1 g de muestra en un tubo de digestión de 25 ml, añadiéndose seguidamente 10 ml de HNO_3 concentrado. Tras reposar toda la noche, la mezcla se calentó cuidadosamente hasta que cesó la producción de humos rojizos de NO_2 . Se dejó enfriar, se añadieron 2 ml de HClO_4 70%, y se volvió a calentar hasta el final de la digestión, señalada por la pérdida de color de la solución. Tras ello, se dejó enfriar y se completó hasta 25 ml con agua desionizada.

De los extractos así obtenidos a partir de las muestras de las enmiendas y de las muestras vegetales, se tomó una alícuota de 0,5 ml y se colocó en tubos de ensayo, al que se añadió 1 ml de molibdato sulfúrico, 1 ml de hidroquinona al 0,5%, 1 ml de sulfito sódico al 20% de la sal anhidra, y finalmente se completó hasta 10 ml con agua desionizada. Transcurridos 35 minutos desde la adición de la hidroquinona, se procedió a medir la absorbancia a una longitud de onda de 625 nm. Al mismo tiempo se preparó una serie de patrones con 20, 60, 100, 150 y 200 ppm de fósforo para obtener una curva de calibración. El contenido de fósforo en las muestras se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde :

a = mg/L de fósforo leídos en la muestra; b = mg/L de fósforo leídos en el blanco

V = volumen final en ml de la digestión ácida o las cenizas; g = gramos de la muestra (vegetal o enmienda).

El contenido total de potasio, calcio y magnesio, se determinó en alícuotas del extracto con HCl 2N obtenido a partir de las cenizas de calcinación de las muestras de enmiendas orgánicas. El contenido total de hierro, zinc, cobre y manganeso se determinó en alícuotas de la extracción ácida en agua regia.

Para la extracción ácida con agua regia de las enmiendas orgánicas, primero se pesaron 2 g de enmienda en un matraz esférico de 100 ml y se añadieron 3 ml de agua regia hasta obtener una pasta. Tras la adición de 7,5 ml de HCl 6N y 2,5 ml de HNO₃ 16N por cada g de muestra, se dejó en reposo durante 16 horas. Posteriormente, la mezcla se hirvió a reflujo durante dos horas, tras lo cual se dejó enfriar y se limpió el condensador con unos 30 ml de agua. La solución se filtró en un aforado de 100 ml, lavando el papel y el residuo con HNO₃ 2M. Tras enfriarse, se completó el volumen con HNO₃ 2M.

En las muestras vegetales, la solubilización de los macro y micronutrientes (fósforo, potasio, magnesio, cobre, manganeso, hierro y cinc) se realizó por digestión de la muestra vegetal con HNO₃/HClO₄ siguiendo la metodología descrita por Chapman y Pratt (1961).

La determinación de potasio se realizó por emisión atómica con espectrofotometría de llama, mientras que el calcio, magnesio, hierro, cinc, cobre y manganeso se determinaron por absorción atómica con llama de aire-acetileno, en alícuotas de 0,5 ml de los extractos (de las cenizas de calcinación y en la extracción ácida con agua regia en las enmiendas, y del extracto de digestión con HNO₃/HClO₄ en las muestras vegetales) o en diluciones respectivas cuando la concentración de la muestra era superior a los patrones. En todos los casos se añadió SrCl₂ al 0,33% para evitar interferencias en las lecturas.

Extracción de las sustancias húmicas de los composts a base de alperujos utilizados en los experimentos 4 y 5.

En el presente trabajo se buscó utilizar un método sencillo, de fácil aplicación y que alterara lo menos posible las características de las sustancias húmicas (SHs) contenidas en los residuos compostados de alperujos.

En primer lugar, como alternativa al uso de NaOH, se han seleccionado el agua y KOH como extractantes debido a que producen menores cambios en

las características de las SHs (Quaggiotti *et al.*, 2004). El potasio además no interfiere de manera negativa en la fisiología de las plantas, y con el agua se obtienen SHs fácilmente aprovechables por las plantas y con posibilidad de ser utilizadas en sistemas de producción sostenibles (Pinton *et al.*, 1999a, 1999b; Quaggiotti *et al.*, 2004).

Para la extracción de las SHs del compost (CPII) y de vermicompost de alperujos, se usaron muestras secas y molidas. En primer lugar se pesaron los productos, se colocaron en botes de plástico y se suspendieron en agua o en KOH + K₄P₂O₇ 0,1:0,1 N, en la proporción 1:20 p/v (producto/extractante). Para hacer referencia a la extracción con potasio, en adelante se le denominará extracción alcalina.

Los botes así preparados se colocaron en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez transcurrido este tiempo se procedió a la extracción de las SHs, usando la metodología siguiente:

Las muestras tratadas con los respectivos extractantes se sometieron a agitación durante una hora y posteriormente se procedió a centrifugar cada una de ellas durante 20 minutos a 4500 rpm. Una vez que las muestras estuvieron centrifugadas, se desechó el material sólido precipitado y el sobrenadante se colocó en matraces aforados de 1 L. Los matraces se aforaron y el producto obtenido se consideró como el extracto húmico total (EHT). De este extracto se tomó una alícuota, la cual se desecó a 65 °C en estufa. Una vez desecadas las muestras, se determinó su contenido de carbono orgánico oxidable mediante el método indicado en MAPA (1994). Para obtener los ácidos húmicos (EH) y fúlvicos (EF), se tomó medio litro del extracto húmico total al que se le añadió ácido sulfúrico 1:1 en agua, hasta alcanzar un pH de 1, y posteriormente se dejó reposar durante la noche. Después de este tiempo, se procedió a centrifugar cada muestra durante 20 minutos a 4500 rpm. El material sólido precipitado se consideró como ácidos húmicos, mientras que la parte líquida correspondió a los ácidos fúlvicos. De estos últimos se tomó una alícuota y se procedió a secarla en estufa a 65 °C. De las muestras así secas, se determinó el contenido de carbono fácilmente oxidable en los ácidos fúlvicos, de la misma manera que en el caso de la determinación de carbono en el extracto húmico total. El contenido de carbono en los ácidos húmicos se obtuvo por diferencia respecto al carbono húmico total, como lo indica Wu y Ma (2002). Los ácidos

húmicos obtenidos se lavaron por dos veces con agua destilada y por último se disolvieron en agua agitándolos durante una hora, de esta manera quedaron listos para su valoración inmediata.

Preparación de los extractos acuosos de los composts utilizados en el experimento 6

Los extractos se prepararon 24 horas antes de cada aplicación. Para ello, se pesaron muestras del compost CPII y del vermicompost caracterizados en el apartado de valoración de vermicompost. Las muestras se colocaron en botes con agua destilada a las dosis de 0,5 y 1 g/L, y los recipientes se dejaron en reposo durante la noche a temperatura ambiente. Antes de la aplicación se filtraron con mallas de 100 y 40 μm . El filtrado así obtenido quedó listo para ser aplicado. De estos extractos se tomaron muestras para realizar determinaciones analíticas.

2.5. Análisis estadístico de los datos

El efecto de los factores de estudio sobre el crecimiento, producción y la composición nutritiva de los tejidos de las plantas en cada experimento, se determinó mediante análisis de varianza utilizando el paquete STATISTICA 6 para Windows®, considerando que en todos los ensayos se utilizó un diseño de bloques al azar con seis repeticiones por tratamiento. La comparación de medias por tratamientos se realizó mediante el test de Tukey ($p \leq 0,05$), y también para evaluar los efectos de los factores principales se aplicó una comparación por contrastes ortogonales.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Los composts de alperujos

3.1.1 Caracterización analítica de los composts de alperujos

Las características de los composts utilizados en los experimentos 1 y 2 se presentan en la Tabla 10. En relación a la humedad, resultó ligeramente elevada, dando valores por encima del valor máximo permitido por la legislación española (MAPA, 2005), si bien el compost CPIII registró una humedad bastante próxima al intervalo aceptable (30 – 40%). El pH de los tres composts resultó muy elevado, hecho que puede ser preocupante debido al posible efecto negativo en la disponibilidad de microelementos esenciales para la nutrición de las plantas. Para evitar tal problema podría recurrirse a aplicar el compost al suelo conjuntamente con productos acidificantes como el azufre, o bien añadiéndolo a la pila de compost durante el compostaje (Roig *et al.*, 2004).

Tabla 10. Características químicas y fisicoquímicas de los composts de alperujos

		Características de cada compost		
		CPI	CPII	CPIII
Humedad	(%)	52,6	59,2	43,0
pH	(1:5 H ₂ O)	9,64	9,65	9,55
CE	(1:5 dS/m)	13,5	16,1	6,27
Cl ⁻	(1:5 mg/L)	2.280	2.900	828
C orgánico	(%)	44,5	41,9	33,3
C hidrosoluble	(%)	1,09	1,84	1,40
Materia volátil	(%)	81,2	75,9	65,8
N orgánico	(%)	2,37	2,43	1,70
N-NH ₄ ⁺	(mg/kg)	38,7	2,30	13,6
N-NO ₃	(mg/kg)	118	16,0	39,5
C/N		18,7	17,4	19,3
Na	(%)	0,51	0,59	0,17
K ₂ O	(%)	4,13	4,41	2,07
MgO	(%)	1,30	1,52	0,70
CaO	(%)	4,15	4,87	4,16
P ₂ O ₅	(%)	1,89	2,16	1,09
Fe	(mg/kg)	2.530	2.490	77.770
Mn	(mg/kg)	86,5	100	2.450
Cu	(mg/kg)	68,7	73,0	34,4
Zn	(mg/kg)	187	214	153
Cd	(mg/kg)	<3	<3	<3
Ni	(mg/kg)	20,1	12,8	35,8
Pb	(mg/kg)	<5	<5	<5
Cr	(mg/kg)	18,3	13,3	29,0

pH y conductividad eléctrica (CE) peso seco en agua a proporción 1:5 (p/v)

La conductividad eléctrica del extracto acuoso 1:5, medida indirecta de la salinidad, es también relativamente elevada, con valores muy similares en los tres composts, lo que exige realizar una dosificación moderada para evitar problemas de salinización del suelo que pudieran causar efectos negativos en los cultivos. El contenido de cloruros es también alto, particularmente en los composts CPI y CPII.

El contenido de materia orgánica de los tres composts es muy alto, tanto expresado como sólidos volátiles o como materia orgánica oxidable, y sólo una pequeña fracción de esta materia orgánica se encuentra en forma hidrosoluble, lo que indica un avanzado estado de descomposición.

El contenido de nitrógeno en los tres productos elaborados es relativamente alto (1,70 - 2,37%), estando mayoritariamente en forma orgánica, fracción del nitrógeno que no es directamente asimilable por las plantas, siendo necesaria su transformación a través del proceso de mineralización en formas minerales: amoniacal y nítrica.

La relación C/N de los respectivos composts varía entre 17,4 y 19,3, valores algo superiores a los valores normales de los suelos agrícolas. El valor de la relación C/N se considera como un índice de la disponibilidad por los cultivos del nitrógeno contenido en los productos orgánicos. Así, una relación C/N = 17 produjo inmovilización del nitrógeno en los cultivos de espinaca y acelga (Jakse y Mihelic, 1999), mientras que con una relación C/N menor de 15 no se alteró la actividad microbiana del suelo (Allison, 1973). Por otra parte, algunos autores (Bernal *et al.*, 1998; Iglesias y Pérez, 1992) consideran una relación C/N = 12 como un indicador de buena estabilidad.

El contenido de otros macroelementos en los tres composts es también destacable, particularmente en los casos del potasio y fósforo, debido en gran medida a las elevadas cantidades existentes inicialmente en el estiércol de conejo, si bien el compost CPIII que se obtuvo a partir de estiércol de ovino, presenta niveles algo inferiores de estos nutrientes.

El contenido de micronutrientes es también considerable, destacando principalmente los valores de hierro y manganeso en el compost CPIII, derivado del estiércol de oveja. No obstante, dada la baja disponibilidad de estos microelementos en los suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana, es

previsible que la aplicación de este tipo de compost favorezca el estado nutricional de los cultivos.

Por último, los niveles de metales pesados obtenidos en los citados composts son bastante bajos, cumpliendo en los tres casos con los requisitos analíticos exigidos para obtener la etiqueta ecológica de la Unión Europea relativa a las enmiendas del suelo y los sustratos de cultivo (CE 2005), correspondiendo a compost clase A según la normativa vigente (MAPA, 2005, Real Decreto 824/2005 sobre fertilizantes).

3.1.2 Valoración del nitrógeno y la materia orgánica de los composts de alperujos (experimentos 1 y 2)

3.1.2.1 Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en el cultivo de lechuga

En la Tabla 11 se presentan los resultados sobre los efectos de la dosis de nitrógeno aportada en forma de tres composts de alperujos y de fertilizante mineral (FM) en los parámetros productivos en las plantas de lechuga correspondiente al experimento 1. En el análisis por factores principales se observa que entre el compost y el FM se alcanzaron diferencias significativas en todos los parámetros, excepto en biomasa seca de tálamo. El factor fertilización, en comparación con el control, únicamente dio diferencias significativas en biomasa fresca total y de hojas de lechuga, debido a que sólo la FM alcanzó valores en estos parámetros muy por encima del control. La interacción fuente (producto fertilizante) por dosis también resultó significativa en todos los parámetros estudiados en la lechuga, excepto en biomasa seca de tálamo.

En la comparación entre tratamientos según el test de Tukey, indicada en la Tabla 11, se constata que la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en forma de composts de alperujos, en comparación con el control, no afectó significativamente a los parámetros de producción y crecimiento en la lechuga. Aunque, entre composts no se observaron diferencias significativas, se puede apreciar una tendencia depresiva en la acumulación de biomasa fresca y seca de plantas al aumentar las dosis de cada composts, con valores similares o inferiores al control, pero con un efecto negativo más acentuado en el compost CPIII. Con este producto a la dosis de 200 kg de N/ha, incluso se detectó una disminución del 19,5% en la biomasa fresca de planta con respecto al control (Tabla 11 y Figura 9).

Tabla 11. Parámetros de producción en la lechuga tratada con diferentes dosis de nitrógeno en forma de nitrógeno orgánico y fertilizante mineral (experimento 1)

Tratamientos	Biomasa total (g/planta)		Biomasa de hoja (g)		Biomasa de talamo (g)		Altura total (cm)	Altura de talamo (cm)	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca			
Control	120,9 ab	9,70 bc	104,6 a	7,50 b	16,3 a	2,20 abc	26,2 a	10,25 a	
FM 50	186,2 c	12,5 d	160,6 b	10,00 c	25,6 b	2,50 c	29,2 b	12,92 a	
FM 100	215,0 d	12,1 d	190,0 c	10,22 c	25,0 b	1,88 abc	30,8 b	13,08 a	
FM 150	223,4 d	11,6 cd	200,4 c	10,07 c	23,5 b	1,47 ab	30,7 b	10,87 a	
FM 200	228,1 d	12,4 d	203,5 c	10,82 c	24,8 b	1,56 ab	29,4 b	11,17 a	
CPI 50	118,3 ab	9,32 b	104,4 a	7,45 ab	13,9 a	1,87 abc	25,5 a	9,00 a	
CPI 100	103,7 ab	7,23 a	91,7 a	5,90 a	12,0 a	1,50 a	26,3 a	8,67 a	
CPI 150	112,2 ab	8,12 ab	98,7 a	6,23 ab	13,5 a	1,88 abc	25,8 a	8,83 a	
CPI 200	114,2 ab	9,02 ab	100,1 a	7,05 ab	14,1 a	1,97 abc	26,0 a	9,42 a	
CPII 50	121,6 ab	9,12 ab	105,3 a	7,08 ab	16,4 a	2,04 abc	26,3 a	10,50 a	
CPII 100	122,1 b	9,04 ab	105,4 a	7,06 ab	16,7 a	1,98 abc	26,1 a	10,17 a	
CPII 150	117,3 ab	9,20 ab	100,4 a	7,04 ab	16,8 a	2,16 abc	25,9 a	11,00 a	
CPII 200	114,6 ab	8,67 ab	100,1 a	6,80 ab	14,5 a	1,87 abc	25,9 a	9,83 a	
CPIII 50	118,7 ab	9,42 b	102,5 a	7,18 ab	16,2 a	2,23 bc	26,6 a	10,92 a	
CPIII 100	112,8 ab	9,02 ab	98,7 a	6,98 ab	14,2 a	2,03 abc	25,3 a	9,50 a	
CPIII 150	110,2 ab	9,18 ab	95,6 a	6,97 ab	14,6 a	2,22 bc	25,2 a	9,58 a	
CPIII 200	97,3 a	8,03 ab	85,3 a	6,28 ab	12,0 a	1,75 abc	24,8 a	9,00 a	
Partición	gl	Cuadrados medios							
Fertilización vs Control	1	1831 **	0,04 NS	1595 ***	0,31 NS	1,43 NS	0,37 NS	2,64 NS	0,00 NS
Composts vs F mineral	3	61795 ***	69,1 ***	48356 ***	69,1 ***	563 ***	0,17 NS	109 ***	39,8 ***
Dosis	3	96,0	2,55	132,91	0,60	23,6	0,65	1,29	4,29
Lineal	p	NS	NS	NS	NS	*	**	NS	NS
Cuadrática	p	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbica	p	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fuente x Dosis	9	977 ***	2,17 ***	905 ***	1,29 ***	7,98 ***	0,35 NS	2,46 ***	3,28 ***

Valores por columna con las mismas letras no son diferentes significativamente $p < 0,05\%$. NS: no significativo. *, **, ***: nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% entre factores de variación. FM: fertilización mineral. CPI, CPII y CPIII: composts a 50, 100, 150 y 200 kg N/ha

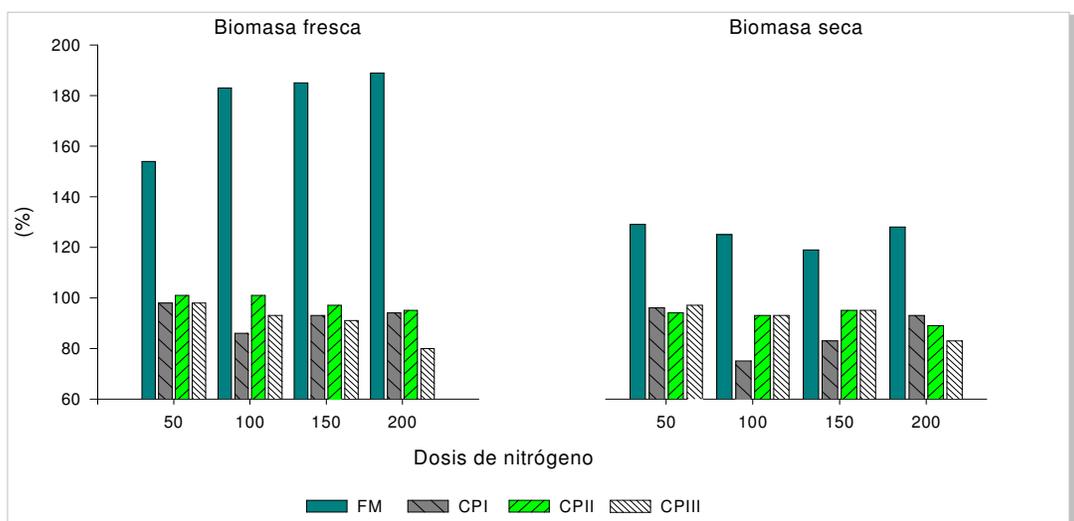


Figura 9. Biomasa fresca y seca relativa (control = 100%) de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral (experimento 1)

Por otra parte, los tratamientos con FM generaron incrementos en los parámetros de producción vegetal en comparación con los tratamientos de composts y con el control, correspondiendo el mejor tratamiento en biomasa total y foliar al FM200. No obstante, a partir de la dosis de 100 kg de N/ha no se constataron diferencias significativas importantes.

El hecho de que el cultivo de lechuga mostrara una clara respuesta positiva a la FM, unido a una respuesta nula a la aplicación de los tres composts de alperujos, parecen evidenciar una baja tasa de liberación del nitrógeno contenido en los composts evaluados.

En cuanto a los resultados de porcentaje de materia seca (PMS) obtenidos en los distintos órganos vegetativos (planta, hoja y tálamo), se muestran en la Figura 10. A tenor de tales datos, se observan claramente dos patrones de variación opuestos, por una parte, los tratamientos de composts que, en general, dieron valores similares al control, únicamente el CPI 100 registró un valor significativamente inferior al control, y por otra, los tratamientos de FM que presentaron unos valores inferiores al control y al compost, mostrando significación estadística en bastantes casos.

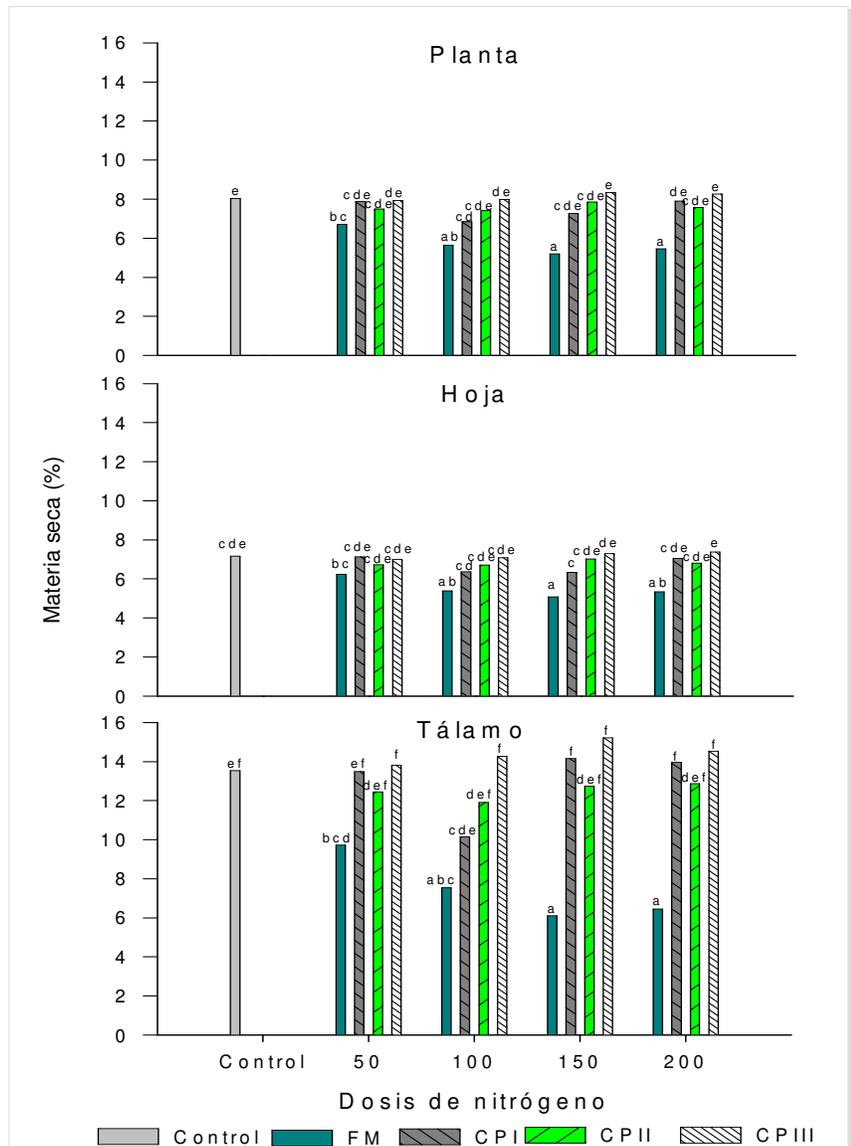


Figura 10. Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral (experimento 1)

Así pues, en el presente estudio se constata un efecto beneficioso de la fertilización orgánica en la producción de plantas con altos PMS. En otros estudios en sistemas de producción ecológicos también se obtuvieron plantas con mayores contenidos de materia seca que en los sistemas convencionales con FM (Schuphan, 1974). Lo que puede tener repercusiones positivas en el valor nutricional de los productos cosechados.

Respecto a la valoración de la MO aportada con los tres composts de alperujos (experimento 2), en el análisis por factores principales, indicado en la Tabla 12, se observa que los efectos correspondientes al tipo de compost y

dosis (relación lineal) resultaron significativos en todos los parámetros de crecimiento y producción evaluados en la lechuga. En este último factor se presentó una tendencia lineal descendente al aumentar la dosis de MO. Las lechugas fertilizadas con composts, en comparación con las plantas control, dieron diferencias significativas en biomasa fresca total, en biomasa fresca de hojas y en altura de plantas. Y la interacción compost por dosis alcanzó significación estadística en todos los parámetros, excepto en biomasa fresca y altura de tálamo.

En el análisis entre tratamientos, según el test de Tukey, mostrado en la Tabla 12, se observa que los compost CPI y CPII a las dosis evaluadas dieron valores de todos los parámetros similares entre sí, y similares o inferiores al control. El CPIII a 30 t de MO/ha presentó valores inferiores que los otros composts, mostrando una tendencia negativa en los parámetros productivos al aumentar la dosis de MO. De los tratamientos valorados, destaca el compost CPII a 10 t de MO/ha, que presentó en todos los parámetros valores superiores al resto de tratamientos.

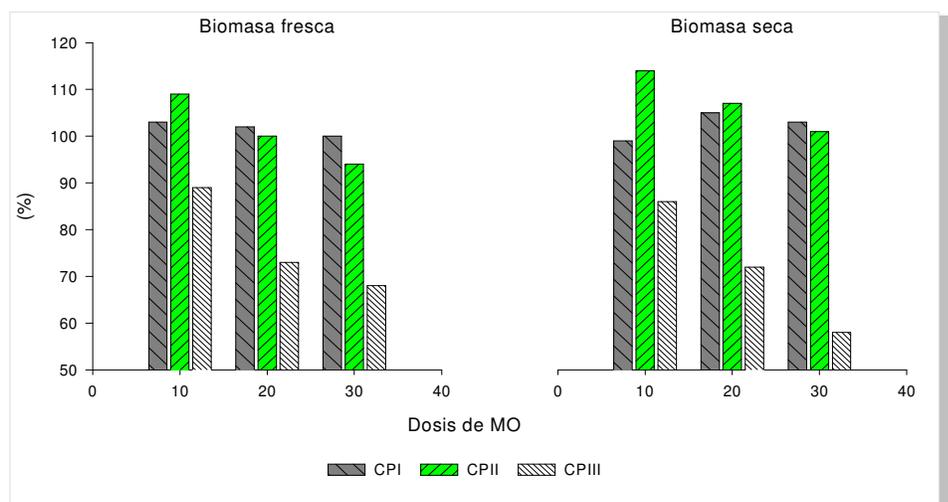


Figura 11. Biomasa fresca y seca relativa (control = 100%) de las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos (experimento 2)

Tabla 12. Respuesta de la lechuga tratada con diferentes dosis de materia orgánica en forma de composts de alperujos (experimento 2)

Tratamientos	Biomasa total (g/planta)		Biomasa de hoja (g)		Biomasa de talamo (g)		Altura total (cm)	Altura de talamo (cm)	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca	Fresca	Seca			
Control	124,0 bcd	12,93 cd	102,1 bcd	8,75 cd	19,5 bc	3,15 bc	26,1 cd	14,8 ab	
CPI 10	127,4 cd	12,86 cd	105,7 cd	9,36 cd	21,3 bc	3,50 bcd	25,5 bcd	17,7 ab	
CPI 20	127,0 cd	13,62 d	105,0 cd	9,68 d	21,7 bc	3,93 cd	25,5 bcd	17,8 ab	
CPI 30	123,5 bcd	13,32 cd	102,6 cd	9,52 cd	20,6 bc	3,80 cd	25,1 bcd	17,4 ab	
CPII 10	135,2 d	14,68 d	109,7 d	10,10 d	25,1 c	4,58 d	26,7 d	20,7 b	
CPII 20	124,1 bcd	13,85 d	102,4 cd	9,87 d	21,3 bc	3,98 cd	23,9 ab	18,0 ab	
CPII 30	116,1 bc	13,10 cd	96,7 bc	9,40 cd	19,0 bc	3,70 bcd	24,3 abc	17,0 ab	
CPIII 10	110,5 b	11,13 bc	91,9 b	7,95 bc	18,2 ab	3,18 bc	24,8 bc	15,4 ab	
CPIII 20	90,8 a	9,37 ab	75,6 a	6,78 ab	15,5 ab	2,58 ab	24,2 ab	16,0 ab	
CPIII 30	84,1 a	7,48 a	72,4 a	5,78 a	11,4 a	1,82 a	22,8 a	11,8 a	
Partición	gl	Cuadrados medios							
Composts vs Control	1	397 *	3,26 NS	218 **	0,01 NS	0,05 NS	0,50 NS	9,55 **	22,4 NS
Tipo de compost	2	5565 ***	110 ***	3394 ***	47,9 ***	252 ***	12,1 ***	10,1 ***	86,8 **
Dosis	2	1246	11,6	664	3,73	91,6	1,92	11,7	31,5
Lineal	p	***	***	***	**	***	**	***	*
Cuadrática	p	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Compost x Dosis	4	229 **	6,52 **	132 **	2,13 *	18,0 NS	1,20 *	4,03 **	11,3 NS

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente $p < 0,05\%$. NS: no significativo. *, **, ***: Nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% entre factores de variación. CPI, CPII y CPIII: composts de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas a 10, 20, 30 t/ha de materia orgánica

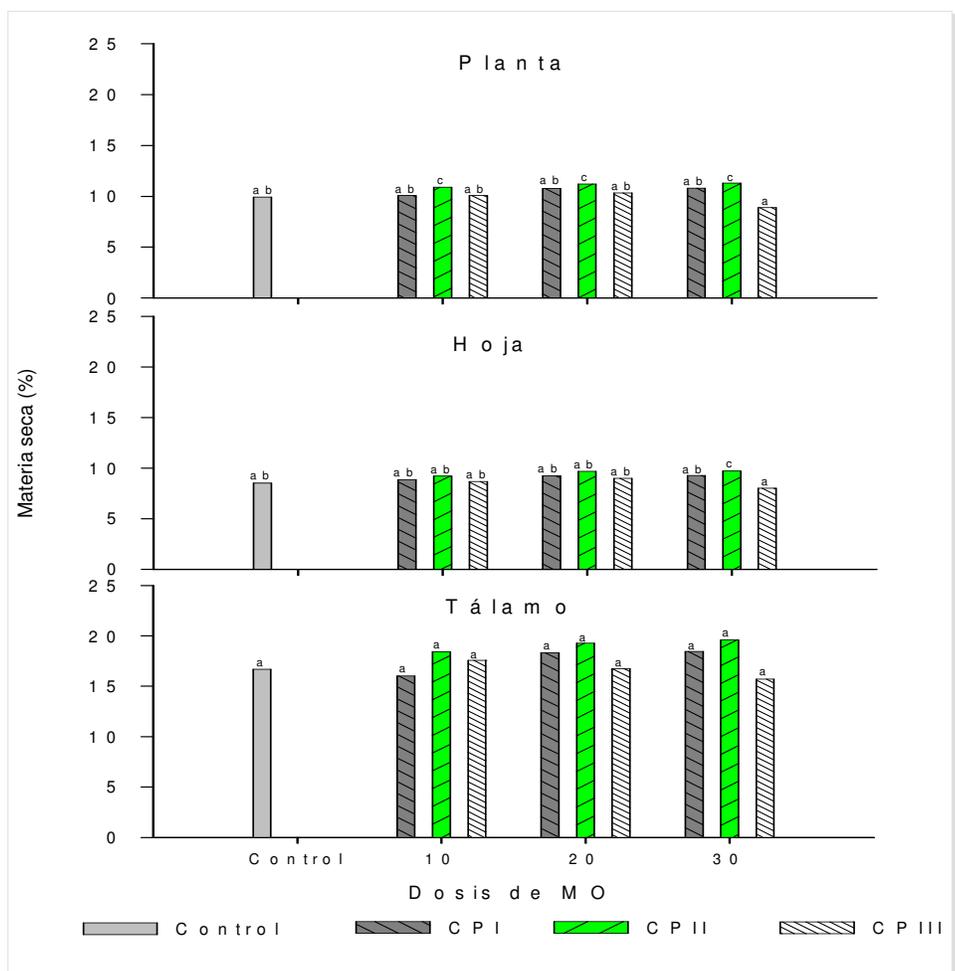


Figura 12. Porcentaje de materia seca en las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos (experimento 2)

Los porcentajes de materia seca (PMS) obtenidos en el ensayo de dosis de MO se presentan en la Figura 12. Se constatan diferencias significativas en el PMS de planta y hoja de lechuga. Las lechugas fertilizadas con el compost CPII alcanzaron los mayores PMS en la planta, y el CPII a 30 t de MO/ha causó un incremento significativo en PMS en hoja con respecto al resto de tratamientos.

Los resultados obtenidos en el experimento 1 coinciden con lo observado por otros autores en el cultivo de espinaca, en los que los productos orgánicos valorados provocaron un menor rendimiento y contenidos más bajos de nitrógeno en las hojas que con la FM (Peavy y Greig, 1972; Jakse y Mihelic, 1999). Asimismo, los resultados obtenidos en estas variables en ambos ensayos, reflejan una baja disponibilidad del nitrógeno contenido en los

productos orgánicos, resultados bastante coincidentes con los indicados por Seginer (2003), y con lo observado por Sims (1990), quien encontró una disminución en la acumulación de materia fresca y seca en trigo, e indica que es una respuesta que puede ser inducida por una inmovilización de nitrógeno en el suelo cuando se usan enmiendas orgánicas con elevada relación C/N. Sin embargo, dado que los composts de alperujos de nuestro estudio tenían una relación C/N entre 17,4 y 19,3, parece más razonable atribuir esta falta de respuesta a un posible efecto fitotóxico de algunos compuestos como los polifenoles contenidos en los residuos de almazara, y que no se degradaran completamente durante el proceso de compostaje.

Las disminuciones en la producción de materia vegetal encontradas con la adición de dosis progresivas de composts de alperujos (Tabla 13), coinciden parcialmente con lo indicado por Aranda *et al.* (2002), quienes observaron una disminución gradual en el crecimiento de plantas de tomate en función de la dosis aplicada de alperujos. Asimismo, Hadrami *et al.* (2004) también obtuvieron reducciones en el crecimiento y producción de trigo, maíz, tomate y garbanzo al aplicar alpechines, debido a un efecto fitotóxico asociado a su contenido en sustancias fenólicas. Efectos que también se han manifestado en reducciones del crecimiento y desarrollo de la flor de pascua cultivada en sustratos con compost de orujos (Ehalotis *et al.*, 2005), en un efecto depresivo en el rendimiento de coliflor fertilizada con composts de alperujos en condiciones de campo o en una respuesta no significativa en otros cultivos hortícolas (Pomares *et al.*, 2004; Pomares, 2008).

En otros estudios (Paredes *et al.*, 2005), utilizando composts de alpechines, se encontraron resultados diferentes a los de nuestro trabajo, ya que se alcanzaron rendimientos de remolacha similares a los observados con la FM. Otros autores (Tejada *et al.*, 2001; Tejada y González, 2003a, 2004a), con la aplicación directa de alperujos, obtuvieron aumentos considerables en el rendimiento, calidad y en la absorción de nitrógeno en cultivos como el maíz, trigo, cebada y arroz. Los resultados de nuestro trabajo también difieren de los encontrados por otros autores (Walker y Bernal, 2004) con la aplicación de compost de alperujos en suelos cultivados con col, quienes constataron aumentos en el crecimiento y en los niveles de fósforo y potasio en los tallos de las plantas.

Si bien los parámetros fisicoquímicos durante el compostaje así como las características de los productos finales se consideraron aceptables para su uso agrícola, los resultados de producción de biomasa vegetal obtenidos en los experimentos 1 y 2 muestran evidencias de que los composts utilizados tenían un grado insuficiente de maduración; en ambos ensayos se observaron efectos negativos en la producción de biomasa fresca de lechuga, pero, en cambio, se constató un efecto beneficioso de la aplicación de compost de alperujos (a la dosis de 20 t de MO/ha) en la producción de plantas con mayor PMS en comparación con las obtenidas con el control.

3.1.2.2 Efectos en el contenido de nutrientes en las hojas de lechuga

En la Tabla 13 se muestran los contenidos de macro y micronutrientes en las hojas de lechuga tratadas con varias dosis de nitrógeno, aportado en forma de composts de alperujos y de FM (experimento 1). En el análisis por factores se observa que las plantas con fertilización, en comparación con el control, alcanzaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno y cinc. Las lechugas tratadas con composts, en comparación con las que recibieron FM, presentaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio y cinc. El efecto de la dosis, en la relación lineal, resultó significativo en el nivel de nitrógeno, cinc y cobre. La interacción fuente por dosis también mostró significación estadística en el contenido de nitrógeno, magnesio y cinc.

En la comparación entre los tratamientos, según el test de Tukey, indicada en la Tabla 13, se observa que las plantas fertilizadas con los tres composts de alperujos a las dosis de nitrógeno aplicadas manifestaron diferencias significativas en el contenido foliar de nitrógeno, magnesio y cinc. En estos elementos, las lechugas fertilizadas con los tres composts presentaron valores similares a los del control, pero con contenidos inferiores a los obtenidos en las plantas que recibieron FM.

Tabla 13. Contenido de macro y microelementos en hojas de lechuga tratada con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral (experimento 1)

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	
Control	1,99 ab	0,33 a	3,50 a	1,58 a	0,57 ab	131 a	45,0 a	9,99 a	140 a	
FM 50	2,55 b	0,29 a	3,24 a	1,60 a	0,64 bc	142 a	53,3 a	9,99 a	127 a	
FM 100	3,22 c	0,36 a	2,84 a	1,55 a	0,76 cd	148 a	60,8 ab	12,16 a	137 a	
FM 150	3,65 c	0,38 a	3,08 a	1,49 a	0,83 d	141 a	73,3 b	14,99 a	137 a	
FM 200	3,79 c	0,35 a	3,26 a	1,47 a	0,77 cd	123 a	60,0 ab	12,66 a	118 a	
CPI 50	2,01 ab	0,30 a	3,07 a	1,50 a	0,52 ab	129 a	49,1 a	11,66 a	128 a	
CPI 100	2,30 ab	0,32 a	2,98 a	1,60 a	0,55 ab	120 a	57,4 ab	10,82 a	122 a	
CPI 150	1,94 ab	0,32 a	2,82 a	1,60 a	0,50 ab	152 a	54,1 a	10,82 a	133 a	
CPI 200	1,92 a	0,30 a	3,16 a	1,62 a	0,51 ab	151 a	58,3 ab	12,82 a	135 a	
CPII 50	2,18 ab	0,32 a	3,34 a	1,67 a	0,59 ab	114 a	54,9 ab	9,99 a	133 a	
CPII 100	2,20 ab	0,30 a	2,87 a	1,37 a	0,48 a	122 a	42,5 a	9,99 a	127 a	
CPII 150	2,13 ab	0,29 a	3,22 a	1,55 a	0,52 ab	145 a	50,8 a	12,48 a	129 a	
CPII 200	2,01 ab	0,29 a	3,94 a	1,58 a	0,52 ab	139 a	46,6 a	11,65 a	138 a	
CPIII 50	1,86 a	0,31 a	3,39 a	1,56 a	0,55 ab	129 a	43,3 a	9,99 a	135 a	
CPIII 100	1,83 a	0,31 a	3,38 a	1,53 a	0,51 ab	112 a	44,1 a	11,66 a	133 a	
CPIII 150	1,86 a	0,28 a	3,49 a	1,45 a	0,47 a	151 a	42,5 a	9,99 a	130 a	
CPIII 200	1,86 a	0,32 a	3,94 a	1,68 a	0,53 ab	143 a	51,3 a	11,32 a	138 a	
Partición	gl	Cuadrados medios								
Fertilización vs Control	1	0,33 **	0,00 NS	0,17 NS	0,00 NS	0,00 NS	44,3 NS	166 *	5,91 NS	214 NS
Composts vs F mineral	3	5,17 ***	0,01 **	0,72 NS	0,01 NS	0,16 ***	192 NS	633 ***	6,74 *	57,4 NS
Dosis	3	0,18	0,00	0,68	0,02	0,00	1217	66,1	8,01	22,8
Lineal	p	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	NS
Cuadrática	p	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cúbica	p	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fuente x Dosis	9	0,29 ***	0,00 NS	0,10 NS	0,03 NS	0,01 ***	472 NS	110 **	4,76 NS	144 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente $p < 0,05\%$. NS: no significativo. *, **, ***: Nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% entre factores de variación. FM: fertilización mineral y CPI, CPII y CPIII: composts a 50, 100, 150 y 200 kg N/ha

Tabla 14. Contenido de macro y microelementos en hojas de lechuga tratada con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos (experimento 2)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Control		1,99 b	0,14 ab	1,78 a	1,91 a	0,77 b	151 a	54,6 ab	23,3 b	149 ab
CPI 10		1,63 a	0,18 ab	1,87 a	1,51 a	0,47 a	215 ab	47,2 ab	16,5 ab	132 a
CPI 20		1,49 a	0,20 ab	1,31 a	1,74 a	0,45 a	251 ab	52,4 ab	17,1 ab	153 ab
CPI 30		1,45 a	0,25 ab	1,39 a	1,55 a	0,44 a	259 ab	53,0 ab	16,2 ab	141 ab
CPII 10		1,57 a	0,17 ab	1,53 a	1,45 a	0,40 a	276 ab	42,7 a	15,2 a	141 ab
CPII 20		1,46 a	0,22 ab	1,98 a	1,53 a	0,42 a	311 b	46,9 ab	16,8 ab	148 ab
CPII 30		1,40 a	0,25 ab	2,02 a	1,62 a	0,48 a	325 b	45,8 a	18,0 ab	159 ab
CPIII 10		1,64 a	0,14 a	1,96 a	1,60 a	0,49 ab	306 b	52,4 ab	18,9 ab	139 ab
CPIII 20		1,61 a	0,21 ab	1,80 a	1,79 a	0,54 ab	284 b	59,6 ab	19,1 ab	171 ab
CPIII 30		1,66 a	0,26 b	1,84 a	1,84 a	0,57 ab	330 b	68,7 b	22,4 ab	195 b
Partición	gl	Cuadrados medios								
Composts vs Control	1	0,52 ***	0,01 *	0,00 NS	0,21 NS	0,24 **	48109,76 **	17,51 NS	82,48 NS	55,56 NS
Tipo de compost	2	0,06 *	0,00 NS	0,33 NS	0,11 NS	0,02 NS	12101,11 NS	522,68 *	36,32 NS	1657,95 *
Dosis	2	0,03	0,02	0,02	0,07	0,00	3521,51	163,01	9,30	1847,74
Lineal	p	*	***	NS	NS	NS	*	*	NS	**
Cuadrática	p	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Compost x Dosis	4	0,01 NS	0,00 NS	0,25 NS	0,02 NS	0,00 NS	853,12 NS	40,62 NS	4,48 NS	546,33 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente $p < 0,05\%$. NS: no significativo. *, **, ***: Nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% por factores de variación. CPI, CPII y CPIII: composts a 10, 20, 30 t/ha de materia orgánica. C: control. CPI, CPII y CPIII: composts de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas

En los casos del nitrógeno, magnesio y cinc se presentó una tendencia general ascendente al aumentar la dosis de FM. El contenido foliar de nitrógeno en las lechugas abonadas con FM aumentó de 1,99% en el control hasta un 3,79% con el tratamiento FM 200, aún cuando a partir de la dosis de 100 kg/ha de nitrógeno ya no se observaron incrementos significativos. El contenido de magnesio en las hojas de lechuga aumentó de 0,57% en el control hasta 0,83% en el tratamiento FM150. Y el contenido de cinc aumentó de 45,0 en el control hasta 73,5 mg/kg en el tratamiento FM150.

En la Tabla 14 se presentan los datos correspondientes al contenido de nutrientes en las hojas de lechuga tratadas con distintas dosis de composts de alperujos, referidas a MO (experimento 2). El análisis por factores pone de manifiesto que las lechugas fertilizadas con composts, en comparación con el control, dieron diferencias significativas en nitrógeno, fósforo, magnesio y hierro. Entre los composts valorados se presentaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, cinc y manganeso. El efecto de la dosis, en la relación lineal, resultó significativo en el nitrógeno, fósforo, hierro, cinc y manganeso, con una tendencia ascendente apreciable únicamente en el fósforo y manganeso. Y la interacción composts por dosis no resultó significativa en ninguno de los nutrientes.

En el análisis entre tratamientos, según el test de Tukey, mostrado en la Tabla 14, se observa que las lechugas fertilizadas con los composts de alperujos a las tres dosis presentaron unos contenidos de nitrógeno inferiores a los del control, pero superiores en el hierro en algunos tratamientos con los composts CPII y CPIII. En el caso del magnesio, los composts CPI y CPII dieron valores inferiores al testigo. Y en el resto de nutrientes, se alcanzaron valores similares a los del control. Y respecto al fósforo se obtuvo una tendencia a aumentar el contenido foliar con las sucesivas dosis de compost, pero el incremento resultó significativo únicamente con el compost CPIII al pasar de 10 a 30 t de MO/ha.

En otros estudios (Albiach *et al.*, 2008), la aplicación de composts de alperujos a dosis de 30 t/ha en diferentes cultivos hortícolas únicamente puso de manifiesto un efecto significativo, en relación al control, en el contenido de nitrógeno, fósforo y cinc en el cultivo de pimiento, así como un valor superior al testigo en el contenido de manganeso en coliflor.

En nuestro estudio, el mayor contenido de hierro en las hojas de lechuga con los tratamientos de composts, puede explicarse por una mayor aportación o por un efecto estimulador en la disponibilidad de este nutriente en el suelo, tal como lo indican diferentes autores (He *et al.*, 2005). En algunas investigaciones también se indica que durante el proceso de descomposición de los residuos se liberan ácidos orgánicos que pueden formar quelatos de hierro, compuestos en los que este nutriente es más fácilmente disponible para las plantas (Peavy y Greig, 1972). Pero también puede estar asociado a un efecto de concentración, debido a la menor producción de materia seca obtenida con el compost CP III.

Al comparar los resultados de las Tablas 13 y 14, se observan unas diferencias considerables en el contenido de algunos nutrientes, como el fósforo, potasio, hierro y cobre, en las plantas de lechuga correspondientes a los experimentos 1 y 2. Así, en el ensayo 2, en todos los tratamientos se obtuvieron menores contenidos de fósforo y potasio, y mayores de hierro y cobre foliar. Diferencias que pueden atribuirse a que en el ensayo 2, los tratamientos no recibieron fertilización fosfopotásica suplementaria.

Por último, indicar que en la interpretación de los contenidos de nutrientes observados en las plantas de lechuga con respecto a los valores estándar (Maynard y Hochmuth, 1997), cabe señalar que el contenido foliar de calcio, magnesio, cinc y cobre determinados en ambos experimentos, resultaron dentro de los intervalos de suficiencia indicados para el cultivo de lechuga romana. Con las aplicaciones de composts de alperujos, los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio registraron niveles inferiores a los intervalos de suficiencia, pero los contenidos de hierro resultaron por encima de esos intervalos indicados para el cultivo de la lechuga (Flynn *et al.*, 1995; Maynard y Hochmuth, 1997). Por el contrario, los tratamientos con FM presentaron contenidos de nitrógeno total en hojas dentro de los intervalos de suficiencia.

3.1.2.3 Efectos en la absorción de nutrientes en el cultivo de lechuga

En las Figuras 13 y 14 se indican los valores de absorción de nutrientes por las plantas de lechuga tratadas con dosis crecientes de nitrógeno en forma de tres composts en el ensayo 1. En todos los casos se observa que con los composts las cantidades absorbidas de macro y microelementos resultaron inferiores a las obtenidas con los tratamientos de FM, y presentaron valores similares o inferiores a los obtenidos con el tratamiento control. Y entre los diferentes composts los niveles y tendencias de absorción de nutrientes resultaron similares; únicamente con el CPIII se registró un descenso en las cantidades absorbidas de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y manganeso al aumentar la dosis de nitrógeno.

Las plantas de lechuga con los tratamientos de FM en el experimento 1 presentaron mayores absorciones que en el control en todos los nutrientes, excepto de potasio, pero los incrementos derivados de las sucesivas dosis mostraron diferentes pautas de variación. Así, puede observarse en las Figuras 13 y 14 que la absorción de nitrógeno registró incrementos progresivos con las sucesivas dosis de FM; mientras que las absorciones de fósforo, magnesio, hierro, cobre y manganeso reflejaron una evolución también exponencial, pero con una tendencia inicial ascendente y otra final descendente, en unos casos, y de estabilidad en otros. En la absorción del potasio y calcio las evoluciones no siguieron ningún patrón determinado.

En nuestro estudio, los valores de absorción de nutrientes obtenidos por las plantas de lechuga fueron inferiores a los indicados en otras investigaciones (Peavy y Greig, 1972; Rincón, 1991; Corbí, 1993), si bien estos autores realizaron sus experimentos en condiciones de campo.

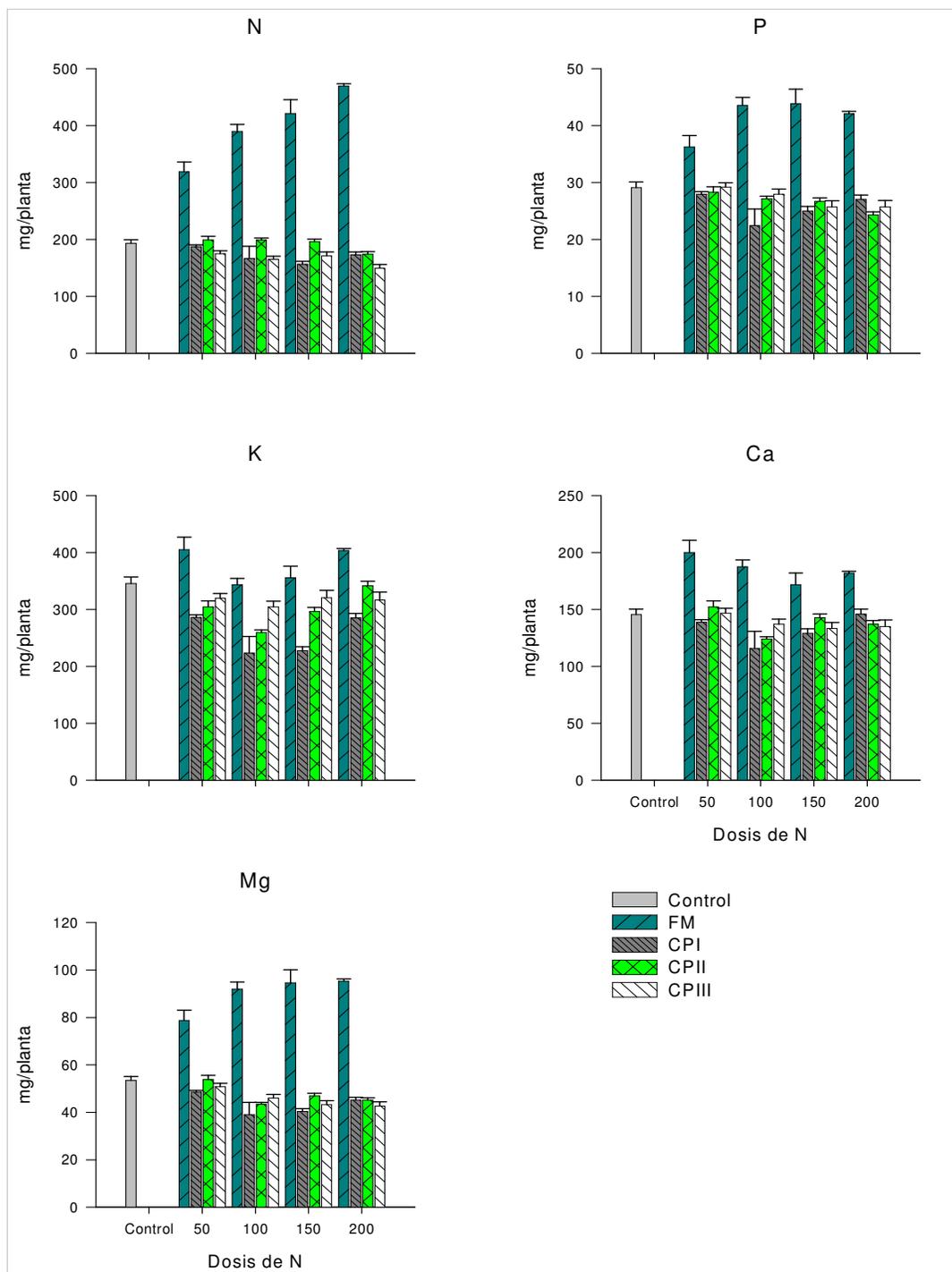


Figura 13. Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral (experimento 1)

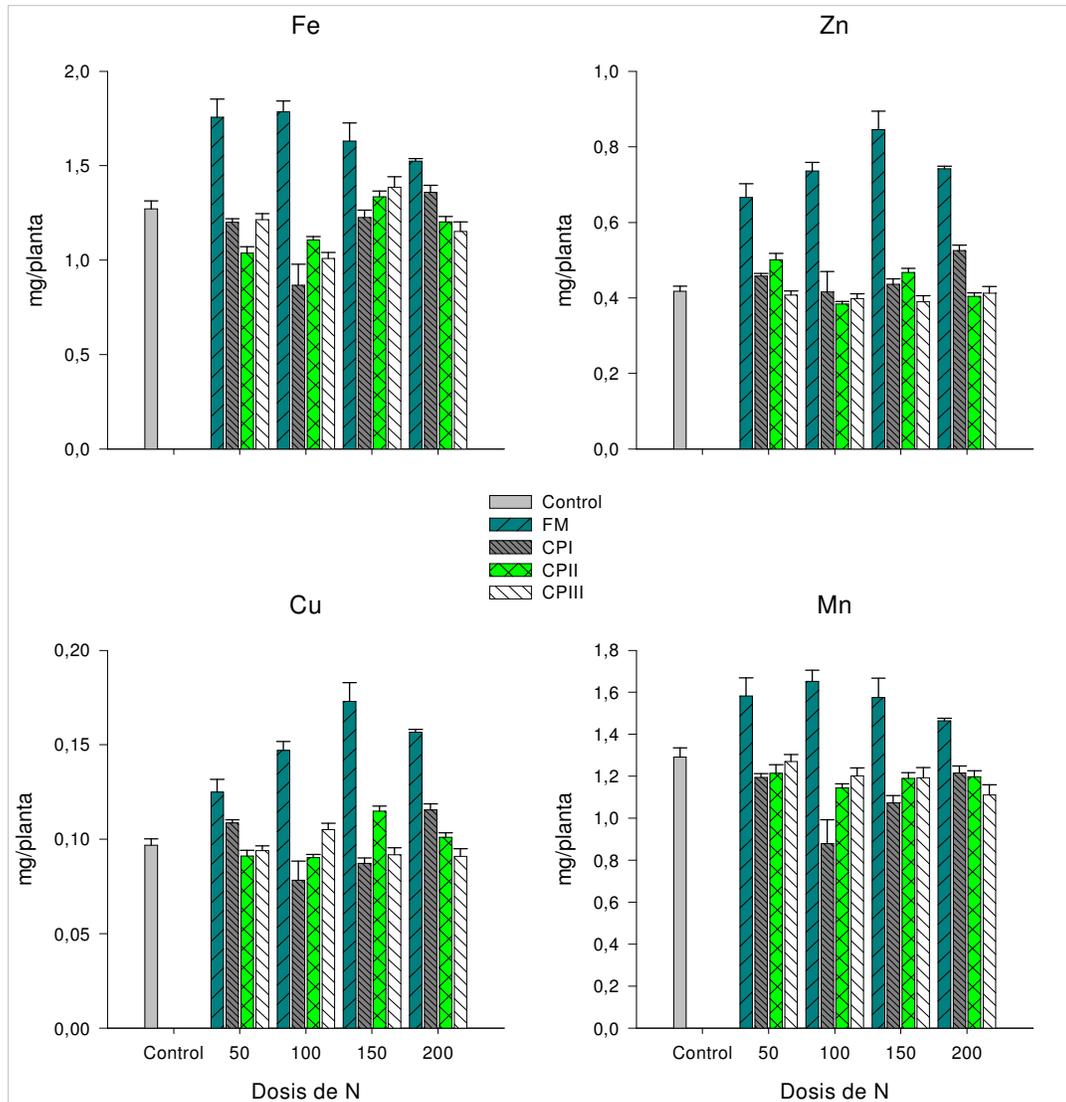


Figura 14. Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de nitrógeno en forma de tres composts de alperujos y fertilizante mineral (experimento1)

En las Figuras 15 y 16 se muestran los resultados obtenidos en la absorción de nutrientes en función de la dosis de MO aportada con los tres composts de alperujos (experimento 2). En estas figuras se observa que las lechugas fertilizadas con los composts CPI y CPII presentaron una respuesta positiva en la absorción de fósforo y hierro, con una tendencia ascendente al incrementar la dosis de aplicación. Con estos dos composts a la dosis de 30 t/ha se alcanzó el nivel más alto de fósforo (33,3 y 32,7 mg/planta), comparado con el obtenido en el control (20 mg/planta), y respecto al hierro, las plantas

tratadas con las dosis de 20 y 30 t/ha presentaron el valor máximo (4,2 mg/planta), bastante superior al obtenido con el control (2,0 mg/planta), en cambio, con el CPIII los valores obtenidos (de 16 a 20 mg/planta) no superaron al testigo.

La menor absorción de fósforo por las plantas obtenida con el compost CPIII puede estar relacionada con la menor acumulación de materia fresca y seca alcanzada por las plantas tratadas con este compost, unido a que éste producto tenía el menor contenido de fósforo (1,1% de P_2O_5) por kg de compost aplicado.

De forma análoga, el compost CPII alcanzó un efecto considerable en la absorción de potasio. Las lechugas fertilizadas con este producto a la dosis de 20 t/ha dieron el nivel máximo de potasio (270 mg/planta) en comparación con el control (215 mg/planta).

Las lechugas tratadas con el compost CPIII dieron valores de absorción de nutrientes bastante inferiores a los obtenidos con los otros composts (CPI y CPII), particularmente con la dosis media y alta (Figuras 15 y 16).

Al comparar los resultados de absorción de nutrientes por las plantas de lechuga obtenidas en los experimentos 1 y 2, se aprecian considerables diferencias en las absorciones de fósforo (Figuras 13 y 15) y de hierro (Figuras 14 y 16). Así, en relación a los valores de absorción de fósforo, se puso de manifiesto que en el ensayo 2 los composts CPI y CPII originaron un aumento del citado parámetro (Figura 15), en cambio, en el ensayo 1, la aplicación de estos composts no afectó el nivel de absorción (Figura 13). Y en relación a la absorción del hierro, mientras que en el ensayo 2, los tratamientos de composts originaron valores superiores a los del control (Figura 16), en el ensayo 1, los tratamientos de composts y el control registraron valores similares (Figura 15). Estas diferencias entre ambos experimentos cabe atribuirles a los diferentes efectos que provocaron los composts tanto en la producción de biomasa como en el contenido nutricional.

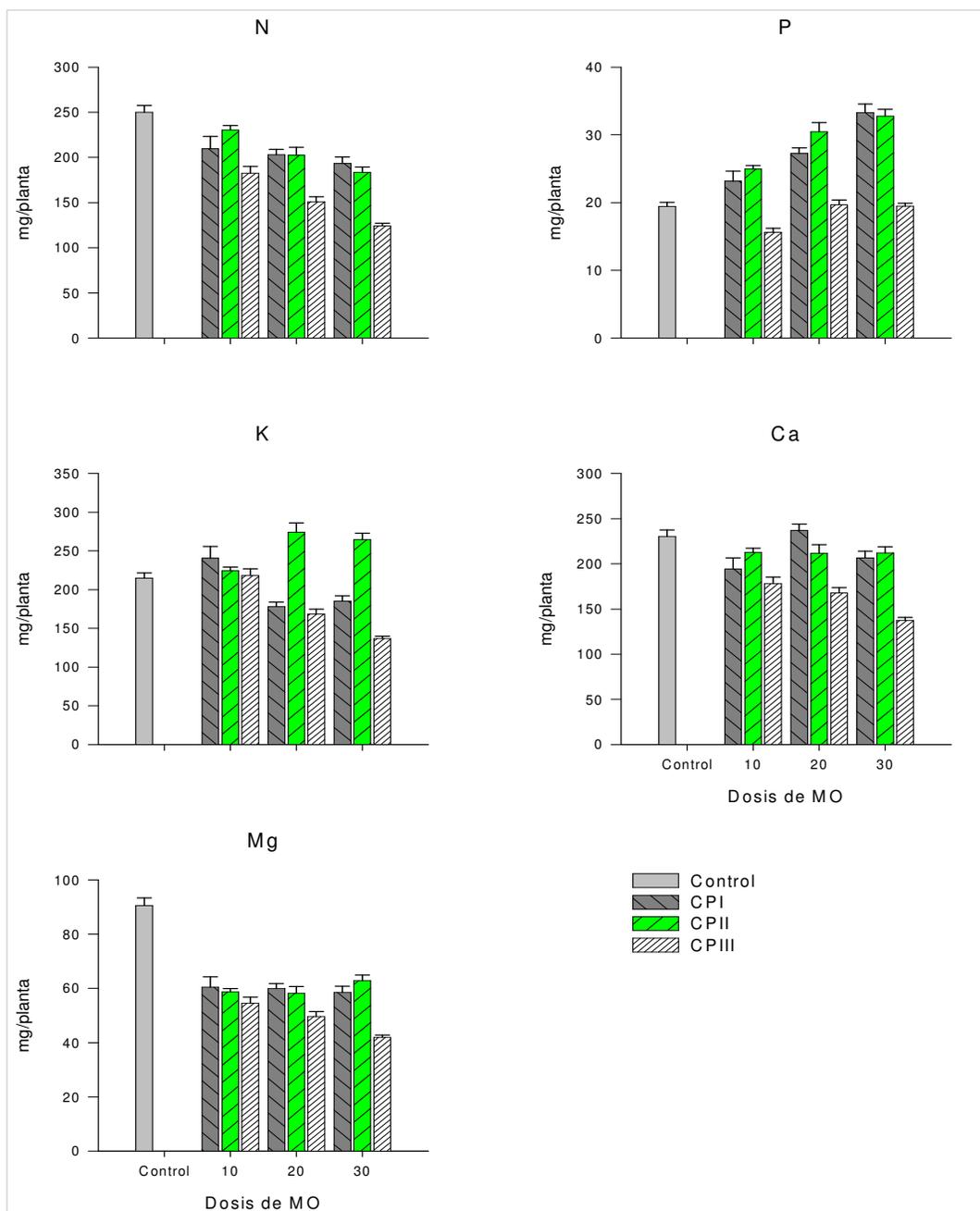


Figura 15. Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos (experimento 2)

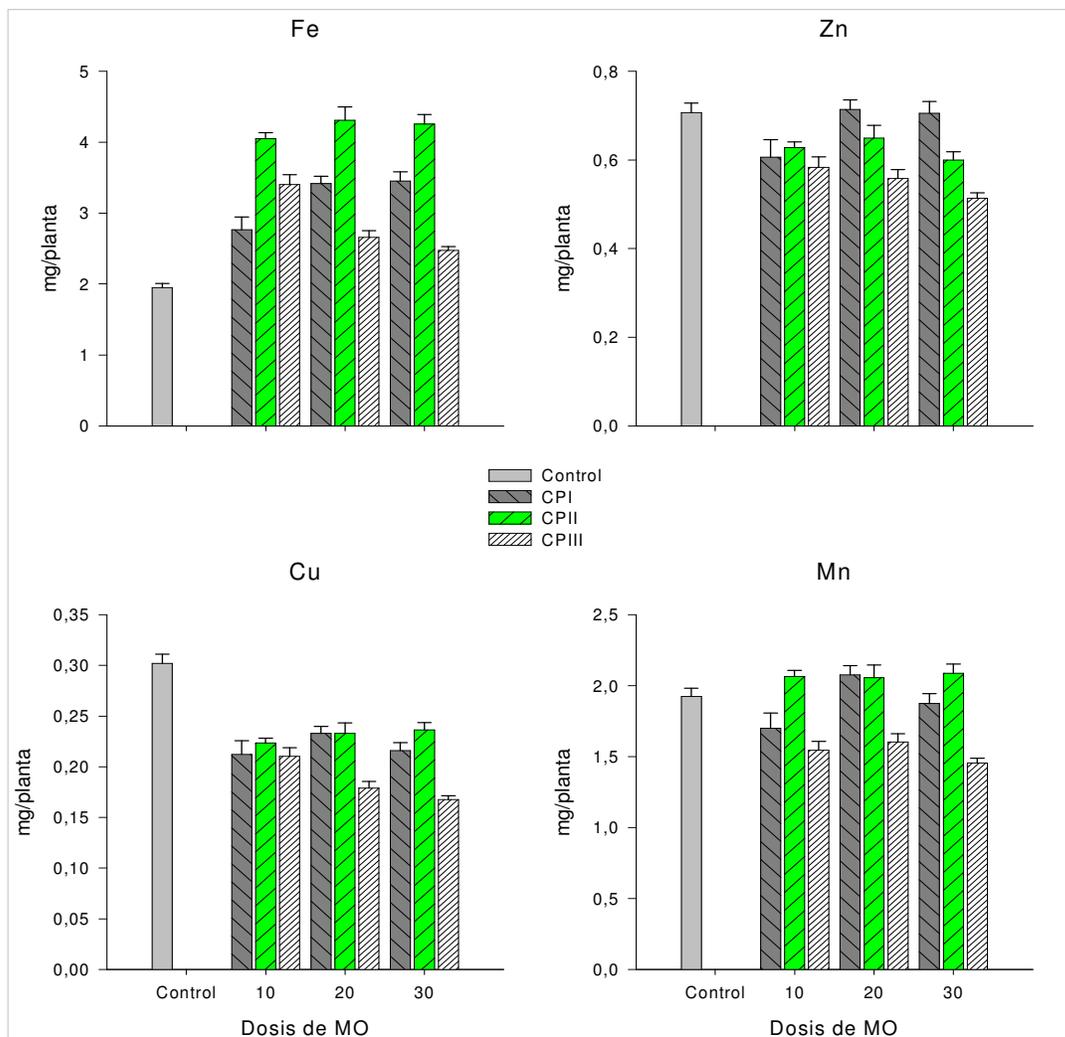


Figura 16. Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga tratadas con diferentes dosis de materia orgánica en forma de tres composts de alperujos (experimento 2)

Los resultados de nuestro estudio coinciden en gran medida con los obtenidos en otras investigaciones; así, Walter y Bernal (2004) constataron que la aplicación de composts de alperujos provocó un aumento en el contenido de fósforo y potasio en el cultivo de col; pero difieren de los obtenidos por Paredes *et al.* (2005) con la utilización de composts de alpechines, y por otros autores (Tejada *et al.*, 2001; Tejada y González, 2003a y 2004a) mediante la aplicación directa de alperujos en cultivos de maíz, trigo y arroz.

3.1.2.4 Efectos en la eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts de alperujos

El nitrógeno es uno de los elementos que mayor influencia tiene sobre el crecimiento y rendimiento de los diferentes cultivos. De ahí que tenga un alto interés agronómico conocer el nivel de aprovechamiento del nitrógeno aportado con los fertilizantes nitrogenados, para lo cual, los índices de eficiencia en la utilización del nitrógeno (EUN) son de gran utilidad. Para fines del presente trabajo se utilizaron tres formas diferentes de calcular la EUN: 1) la eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno (EAUN), que indica el incremento en rendimiento con respecto al control por unidad de nitrógeno aplicado; 2) la eficiencia fisiológica de utilización del nitrógeno (EFUN), que indica el incremento en rendimiento con respecto al control por unidad de nitrógeno absorbido, y 3) la eficiencia de recuperación del nitrógeno (ERN), que expresa el incremento en nitrógeno absorbido con respecto al control por unidad de nitrógeno aplicado. Las fórmulas utilizadas se indican en el apartado 2.1.2.2. de material y métodos.

Los resultados obtenidos en la EUN de los compost de alperujos y la FM en función de la dosis de nitrógeno en la lechuga (experimento 1) se presentan en la Tabla 15. Se observa que los composts a las cuatro dosis de nitrógeno aplicadas dieron unos valores de EAUN y EFUN estadísticamente similares entre sí, y con valores negativos en la mayoría de los casos, y asimismo resultaron inferiores a los conseguidos con la FM. El CPII hasta la dosis de 150 kg N/ha, en comparación con los otros dos composts, resultó el único producto que consiguió unos valores de ERN positivos, si bien bajos, y con una tendencia decreciente al aumentar la dosis de nitrógeno. La FM alcanzó valores positivos en las tres formas de EUN (EAUN, EFUN y ERN) y, como era de esperar, presentó una tendencia descendente en los niveles de estos parámetros con las progresivas dosis de nitrógeno aportadas.

Los niveles de EUN de los composts de alperujos aplicados en base a la dosis de MO (experimento 2) en la lechuga se indican en la Tabla 15. Se distinguen tres aspectos importantes: en primer lugar, el compost CPII a las tres dosis de MO alcanzó valores de EAUN y EFUN positivos y en niveles superiores a los alcanzados con los otros dos productos valorados, y presentó

al igual que en el ensayo 1, una tendencia descendente en los niveles de estos parámetros con los sucesivos incrementos en las dosis de MO; en segundo lugar, se aprecia que los tres composts de alperujos presentaron unos niveles negativos de ERN, debido a que los tres productos dieron valores de absorción de nitrógeno en las plantas de lechuga inferiores a las observadas en el control y, por último el producto CPIII, al igual que en el experimento 1, alcanzó los valores más negativos en las tres formas calculadas de EUN.

Tabla 15. Eficiencia de utilización del nitrógeno de los composts de alperujos aplicados en el cultivo de lechuga en los experimentos 1 y 2

Tratamientos	Experimento 1		
	EAUN (g MS/g N aplicado)	EFUN (g MS/g N absorbido)	ERN (%)
FM 50	9,03 f	8,29 d	40,5 b
FM 100	4,95 ef	6,02 d	40,5 b
FM 150	2,78 cde	3,93 cd	34,5 b
FM 200	3,21 de	5,70 d	33,1 b
CPI 50	-1,52 abcd	-2,11 bcd	-2,28 a
CPI 100	-6,69 a	-21,3 a	-7,23 a
CPI 150	-3,38 ab	-10,8 abc	-7,55 a
CPI 200	-1,14 bcd	-4,15 bcd	-3,30 a
CPII 50	-2,30 abc	-3,17 bcd	2,31 a
CPII 100	-1,79 abcd	-3,39 bcd	1,60 a
CPII 150	-1,03 bcd	-2,69 bcd	0,61 a
CPII 200	-1,72 abcd	-6,08 bcd	-3,12 a
CPIII 50	-1,12 bcd	-1,81 bcd	-7,09 a
CPIII 100	-1,85 abcd	-4,43 bcd	-7,60 a
CPIII 150	-1,06 bcd	-3,49 bcd	-4,57 a
CPIII 200	-2,77 ab	-11,8 ab	-7,24 a
Experimento 2			
CPI 10	-0,20 b	-1,98 cd	-9,83 bc
CPI 20	1,02 bc	3,00 d	-6,92 c
CPI 30	0,40 bc	1,49 cd	-6,00 c
CPII 10	4,75 c	7,43 d	-5,05 c
CPII 20	1,52 bc	3,81 d	-7,83 c
CPII 30	0,19 bc	0,53 cd	-7,91 c
CPIII 10	-5,00 a	-10,5 c	-18,4 a
CPIII 20	-6,08 a	-24,2 b	-16,7 ab
CPIII 30	-6,71 a	-44,2 a	-15,3 ab

Valores con la misma letra por columna y experimento no diferentes significativamente por Tukey $p < 0,05\%$. EAUN: eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno, EFUN: eficiencia fisiológica de utilización del nitrógeno, ERN: eficiencia de recuperación del nitrógeno

El efecto descendente en las EUN observado con la FM y en menor medida con el CPII se debe a que las sucesivas dosis aplicadas de nitrógeno no originaron incrementos importantes y proporcionales en la producción de MS de las plantas de lechuga (ley de los incrementos de rendimiento decrecientes). La tendencia descendente en las EUN es comúnmente observada en la valoración de fertilizantes nitrogenados y de enmiendas orgánicas (Ofori *et al.*, 2005), pero los valores encontrados en nuestro trabajo son más bajos que los obtenidos en otras investigaciones (Dobermann *et al.*, 2004; Hussain *et al.*, 1996; IFA, 2007), sobretodo, en cultivos muy demandantes de nitrógeno.

3.2. El compost y vermicompost de alperujos

3.2.1 Caracterización analítica del compost y vermicompost

La caracterización analítica del compost y del vermicompost, realizada previo a la valoración agronómica de los mismos, se presenta en la Tabla 16.

El pH de ambos materiales dio valores de 8,9 y 8,6, respectivamente. Estas cifras son ligeramente superiores a las registradas en composts y VC de alperujos (Ehaliotis *et al.*, 2005; Labrador *et al.*, 2001), pero fueron inferiores a las observadas en composts (9,3) según los estudios de Cayuela *et al.* (2004) y Walker y Bernal (2004). En cualquier caso, los niveles de pH de ambos materiales resultan ligeramente elevados y deben tenerse en cuenta en las dosificaciones porque pueden influir en la disponibilidad de micronutrientes en el suelo.

Tabla 16. Características analíticas del compost y vermicompost de alperujos

Características		Vermicompost	Compost
pH	(1:5)	8,90 ± 0,01	8,65 ± 0,00
Conductividad eléctrica	(dS/m 1:5)	5,0 ± 0,00	2,6 ± 0,00
Carbono orgánico oxidable	(%)	32,8 ± 0,18	36,4 ± 0,12
Sólidos volátiles	(%)	75,2 ± 1,28	87,1 ± 0,96
Carbono húmico total	(%)	9,60 ± 0,19	11,6 ± 0,23
Carbono ácido húmico	(%)	6,22 ± 0,00	7,70 ± 0,19
Carbono ácido fúlvico	(%)	1,56 ± 0,00	2,34 ± 0,00
Relación E4/E6		8,04 ± 0,36	8,54 ± 0,18
Relación AH/AF		4,00 ± 0,00	3,29 ± 0,08
Grado de humificación	(%)	80,8	85,8
Relación C/N		12,8	13,5
N total	(%)	2,56	2,70
P ₂ O ₅	(%)	3,30	2,50
K ₂ O	(%)	1,90 ± 0,03	3,32 ± 0,02
CaO	(%)	5,05 ± 0,07	5,61 ± 0,06
MgO	(%)	0,75 ± 0,01	0,76 ± 0,01
Fe	mg/kg	399 ± 22,3	362 ± 11,1
Zn	mg/kg	34,3 ± 7,10	25,4 ± 0,63
Cu	mg/kg	6,70 ± 0,10	7,50 ± 0,00
Mn	mg/kg	28,7 ± 1,36	24,5 ± 0,62

pH y CE en una proporción 1:5 (p/v) peso seco en agua

La conductividad eléctrica resultó más alta en el VC, debido a la liberación de sales solubles durante el proceso de mineralización de la materia orgánica. Como resultado, la conductividad eléctrica del suelo se puede ver incrementada como lo indican Walker y Bernal (2004), quienes observaron incrementos importantes en la concentración de nitrato, así como de potasio y sodio solubles en el suelo, después de la aplicación de estiércol o compost de alperujos. La conductividad del VC es un parámetro que debe tenerse en cuenta para propiciar un buen manejo de dicho material, dado que una aplicación continuada o el uso de dosis elevadas podrían provocar problemas de salinización en el suelo.

Por otra parte, en el VC también resultó apreciable una disminución importante en la relación C/N, en el porcentaje de sólidos volátiles, en el nitrógeno total y en el carbono orgánico oxidable, así como una disminución en el contenido de carbono en el extracto húmico total, en los ácidos fúlvicos y en los ácidos húmicos; características que son comunes en productos orgánicos procesados mediante vermicompostaje (Domínguez *et al.*, 1997; Saavedra *et al.*, 2004). En términos proporcionales el VC presentó una relación AH/AF de 4,0, en tanto que en el compost fue de 3,3; no obstante, ambos materiales resultaron con una relación dentro del intervalo de 3 a 9,2, establecido por Chen *et al.* (1996) para considerar a un compost como un producto orgánico estabilizado. Si bien la relación E4/E6 resultó similar en ambos productos (8,0 y 8,5), una menor relación en el VC podría indicar un mayor grado de condensación de sustancias húmicas y un mayor nivel de humificación de la materia orgánica (Porta *et al.*, 2003).

Es importante resaltar que la relación C/N alcanzada (12,8 en el VC y de 13,5 en el compost), así como el nivel alto de nitrógeno total obtenido en ambos productos orgánicos (2,5 y 2,7% respectivamente), son valores considerados como aceptables para los productos usados como enmiendas orgánicas, y son un indicativo de su posible efecto positivo en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Asimismo, coinciden con los niveles publicados por otros autores, y presentan una relación C/N inferior a la indicada por Walker y Bernal (2004) en un compost de alperujos.

Con relación al contenido de nutrientes, podemos apreciar un nivel importante en el contenido de fósforo, hierro, cinc y manganeso en el VC, así

como un bajo nivel de potasio (1,9%) comparado con el obtenido en el compost de alperujos (3,3%). El contenido de potasio y magnesio en el VC dio niveles similares a los obtenidos por Labrador *et al.* (2001) en diferentes VCs de alperujos, pero registraron un menor contenido de manganeso y un mayor nivel de nitrógeno, fósforo, calcio y cinc.

Los cambios observados en los parámetros indicados en el VC, implican que con el vermicompostaje se obtuvo un mayor grado de humificación de la materia orgánica (Roig *et al.*, 1998), así como un mayor nivel de mineralización. Asimismo, las propiedades químicas de los productos indicados en la Tabla 9, en general coinciden con los valores observados en la literatura para residuos orgánicos estabilizados (Chen *et al.*, 1996; Frederickson *et al.*, 1997; Vincelas y Loquet, 1997; Bernal *et al.*, 1998; Sainz *et al.*, 2000) y cumplen con las especificaciones indicadas para abonos orgánicos.

En base a lo anteriormente expuesto, podemos apuntar que el uso del compostaje más un tratamiento de vermicompostaje mejoró las propiedades químicas de los residuos, como lo mencionan Frederickson *et al.* (1997) y Singh y Sharma (2002). Sin embargo, aún se pueden apreciar niveles elevados de material volátil, proveniente de los remanentes de huesos triturados de aceituna constituidos de lignina de difícil degradación. Por lo que podrían ser considerados otros métodos adicionales para promover un mayor grado de humificación en el VC y en el compost. También es importante resaltar el mejoramiento en el contenido de nutrientes observado en el VC; sin embargo la información de la caracterización química de los materiales no es un indicador suficiente de su calidad como fuente de nutrientes y materia orgánica; por lo que decidimos realizar experimentos de valoración agronómica para contar con criterios adecuados, que permitieran establecer las recomendaciones en la fertilización de los cultivos.

3.2.2 Valoración del compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)

3.2.2.1 Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos

Lechuga

En la Tabla 17 se presentan los resultados del efecto de la aplicación de compost y vermicompost (VC) en el crecimiento y producción de lechuga. En el análisis por factores se observa que las lechugas fertilizadas con los productos valorados, en comparación con el testigo, únicamente consiguieron diferencias significativas en la altura total y de tálamo. Entre los dos tipos de productos fertilizantes se alcanzaron diferencias en la biomasa fresca total y en biomasa seca de tálamo. Y el efecto dosis únicamente dio una tendencia lineal significativa en la biomasa fresca de planta. La interacción productos por dosis no resultó significativa en ninguno de los parámetros valorados.

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey, indicada en la Tabla 17, se observa que las lechugas tratadas con el VC a la dosis de 5 t/ha presentaron la mayor altura de planta, y con el compost a esa misma dosis dieron la mayor biomasa fresca de plantas. En general, se constata que, al aumentar la dosis de los productos valorados se presenta un efecto depresivo en la altura de planta y en la biomasa fresca total; un efecto negativo que resultó significativo únicamente en la biomasa fresca de planta.

En otros estudios (Papafotiou *et al.*, 2004; Aranda *et al.*, 2002), con la aplicación de composts de orujos en flor de pascua o con la adición de alperujos al medio de cultivo en tomate, el crecimiento y desarrollo también se vio reducido, y se atribuyó a un efecto fitotóxico. Esta fitotoxicidad puede perdurar durante un período de 90 hasta 120 días después de la aplicación de los residuos, dependiendo de la dosis aplicada y del nivel de humedad en el suelo (Pérez *et al.*, 2005).

Tabla 17. Parámetros de producción y crecimiento en la lechuga fertilizada con compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)

Tratamientos	Biomasa total		Biomasa de tálamo		Altura		Diámetro tálamo (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)	Fresca (g)	Seca (g)	Total (cm)	Tálamo (cm)		
Control	365 a	18,3 a	26,5 a	2,50 a	27,8 a	8,83 a	2,42 a	
VC5	372 ab	20,5 a	26,9 a	2,95 a	29,5 b	10,50 b	2,53 a	
VC10	360 a	20,1 a	26,0 a	2,92 a	28,8 ab	10,92 b	2,45 a	
C5	386 b	18,5 a	25,9 a	2,20 a	29,3 ab	10,33 ab	2,35 a	
C10	376 ab	20,0 a	26,1 a	2,78 a	28,7 ab	10,92 b	2,47 a	
Partición	gl	Cuadrados medios						
Productos vs Control	1	333 NS	10,4 NS	0,31 NS	0,22 NS	7,50 **	16,1 ***	0,01 NS
Compost vs VC	1	1341 **	6,93 NS	1,35 NS	1,17 *	0,17 NS	0,04 NS	0,04 NS
Dosis	1	706	1,65	0,77	0,45	2,67	1,50	0,00
Lineal		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Productos x Dosis	1	10,1 NS	5,70 NS	1,98 NS	0,57 NS	0,00 NS	0,04 NS	0,06 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: no significativo. *, **, ***: Nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% por factores de variación. C: compost a base de 44,5% de alperujos más 44,5% de estiércol de conejo más 11% de paja de arroz. VC: vermicompost, ambos a 5 y 10 t/ha

Espinaca

Los resultados de crecimiento y producción en el cultivo de espinaca obtenidos con la aplicación de VC y compost de alperujos se presentan en la Tabla 18. El análisis por factores principales puso de manifiesto que las plantas de espinaca fertilizadas con VC, en comparación con las que recibieron compost de alperujos, registraron diferencias significativas en todos los parámetros. El factor dosis únicamente dio un efecto lineal significativo en biomasa seca de planta; mientras que la interacción productos por dosis resultó significativa en la altura de planta.

Tabla 18. Parámetros de producción y crecimiento en espinaca fertilizada con compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)

Tratamientos	Biomasa de planta		Altura de planta (cm)	
	Fresca (g)	Seca (g)		
Control	29,4 ab	3,20 bc	21,7 b	
VC5	28,5 a	3,07 b	21,3 b	
VC10	24,5 a	2,26 a	19,0 a	
C5	36,1 bc	3,87 c	21,8 b	
C10	38,3 c	3,70 bc	23,0 b	
Partición	gl	Cuadrados medios		
Productos vs Control	1	29,40 NS	0,00 NS	0,68 NS
Compost vs VC	1	691 ***	7,55 ***	30,4 ***
Dosis		4,33	1,45	2,04
Lineal	1	NS	*	NS
Productos x Dosis	1	56,4 NS	0,63 NS	18,4 ***

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: no significativo. *, **, ***: Nivel de significación al 0,05, 0,01 y 0,001% por factores de variación. C: compost a base de 44,5% de alperujos más 44,5% de estiércol de conejo más 11% de paja de arroz. VC: vermicompost, ambos a 5 y 10 t/ha de materia orgánica

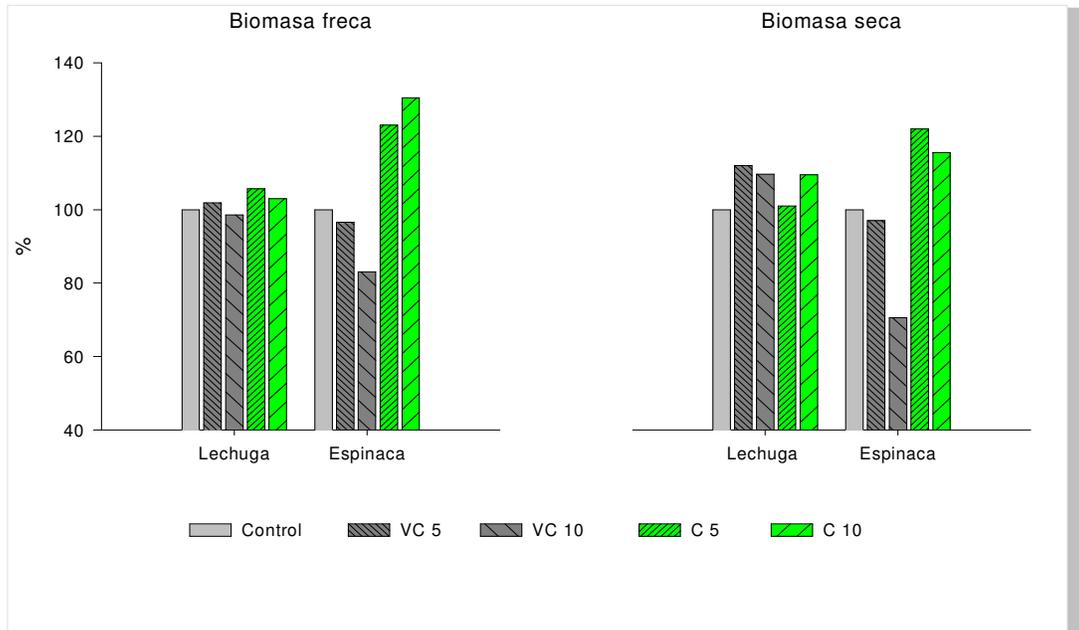


Figura 17. Biomasa fresca y seca relativa (control = 100%) de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos (experimento 3)

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey en la espinaca, indicada en la Tabla 18, se observa que las plantas de espinaca fertilizadas con el compost a 10 t/ha presentaron la mayor acumulación de biomasa fresca y altura de planta, pero dieron un valor de biomasa seca estadísticamente similar al observado en el control. En cambio, las plantas de espinaca tratadas con el VC a 10 t/ha, comparado con el resto de tratamientos, dieron unos valores estadísticamente inferiores en biomasa fresca, biomasa seca y altura de planta. En este sentido, se presentó una tendencia descendente en los parámetros de producción al aumentar de 5 a 10 t/ha con el VC. A pesar de que esta reducción únicamente resultó significativa en la biomasa seca de planta, no es una respuesta previsible de un residuo estabilizado mediante el vermicompostaje.

En las dos especies estudiadas (lechuga y espinaca), el efecto beneficioso en los parámetros de producción con el uso de compost resultó bastante considerable; pero este producto a 5 t/ha, comparado con el control, sólo dio un incremento del 5,6% en biomasa fresca de plantas de lechuga; en cambio, en la espinaca se obtuvieron aumentos del 23 y 30,5% en la biomasa fresca de planta (Figura 17).

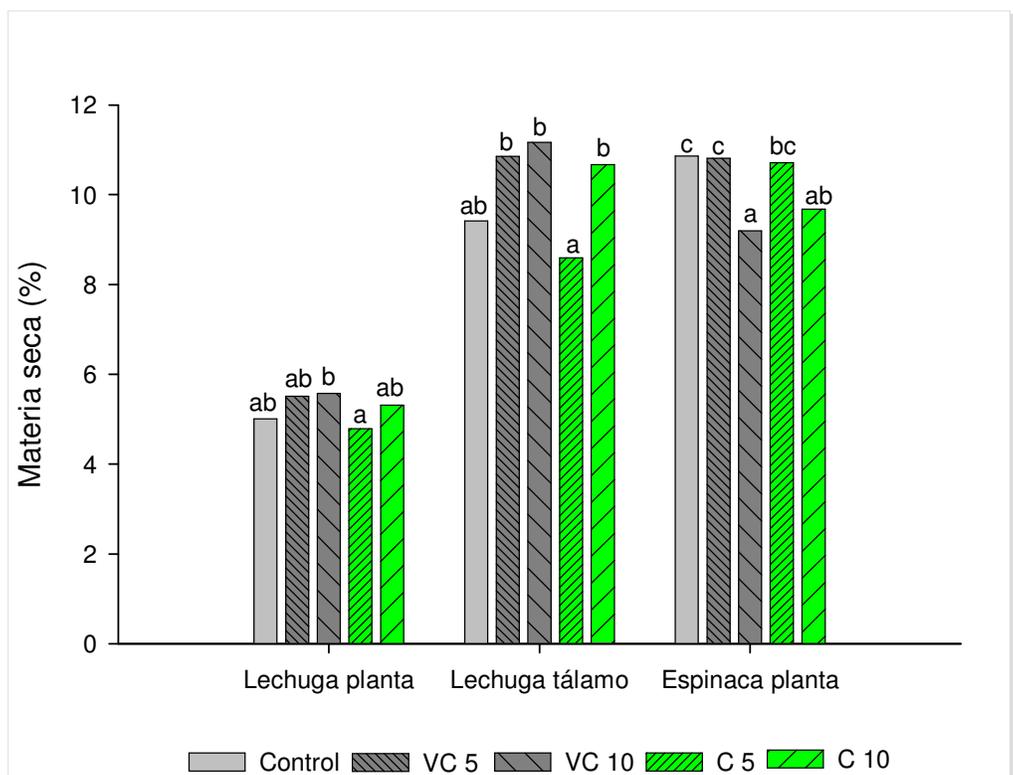


Figura 18. Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos (experimento 3)

Los resultados de porcentaje de materia seca (PMS) en las plantas de lechuga y espinaca se muestran en la Figura 18. Se observa que las lechugas fertilizadas con el VC a 10 t/ha dieron mayor porcentaje de materia seca que los obtenidos con el control y el compost; mientras que con el VC con ambas dosis y con el compost a 10 t/ha se consiguieron plantas con mayor PMS de tálamo que el control. Por el contrario, las espinacas fertilizadas con el VC y el compost a la dosis de 10 t/ha presentaron PMS inferiores a los obtenidos en el testigo. En este sentido, si bien con el VC se obtuvieron plantas de lechuga y espinaca con menor biomasa fresca, los PMS resultaron similares a los obtenidos con el compost.

En nuestro estudio, a pesar de que se observó una mejora en las características químicas del VC elaborado a partir del compost de alperujos, ello no se reflejó en una respuesta positiva en biomasa fresca del cultivo de la espinaca, comparada con la respuesta obtenida con la aplicación de compost en esta especie (Figura 17); pero, estos resultados son discordantes con otros

encontrados en la literatura científica, donde se mencionan efectos positivos en el incremento en peso fresco y seco de hortalizas y otros cultivos fertilizados con VCs en comparación con el uso de composts obtenidos de residuos orgánicos (Arancon *et al.*, 2002; Atiyeh *et al.*, 2002a; Chaoui *et al.*, 2003; Arancon *et al.*, 2004). Y tampoco concuerdan con los efectos beneficiosos del VC indicados por Chaoui *et al.* (2003).

3.2.2.2 Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos

Lechuga

Los resultados en el contenido de nutrientes en las hojas del cultivo de lechuga fertilizada con VC y compost de alperujos se indican en la Tabla 19. En el análisis por factores se observa que las plantas tratadas con los dos tipos de productos, en comparación con el control, dieron diferencias significativas en los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, pero entre ambos productos, únicamente presentaron diferencias significativas en el contenido de fósforo, potasio, cobre y cinc. Asimismo, el efecto de la dosis reflejó una tendencia lineal significativa en todos los nutrientes, excepto en magnesio y manganeso. La interacción productos por dosis resultó significativa en los contenidos de nitrógeno, calcio, cobre y hierro.

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey, indicada en la Tabla 19, se aprecia que las plantas de lechuga fertilizadas con el VC a 5 t/ha dieron los niveles superiores de nitrógeno, magnesio, cobre y cinc, mientras que los contenidos de fósforo, calcio y hierro más elevados se consiguieron con el compost a esa misma dosis. A excepción de lo observado en el contenido de magnesio y manganeso, en el resto de nutrientes se detectó una disminución significativa al pasar de 5 a 10 t/ha de los referidos productos, la cual resultó más evidente en el contenido de cinc y potasio.

Espinaca

Los resultados en el contenido de nutrientes en las hojas de espinaca derivados de la aplicación del VC y del compost de alperujos se indican en la Tabla 20. En el análisis por factores principales se constata que los productos

fertilizantes en relación al control presentaron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en los niveles de calcio y hierro, pero sólo resultaron superiores al control en el fósforo, potasio y cinc. Entre los productos valorados se registraron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, manganeso y hierro, siendo los valores obtenidos con el VC superiores a los alcanzados con el compost. La dosis registró un efecto lineal significativo en los contenidos de nitrógeno, fósforo, magnesio, cobre, manganeso y cinc. Asimismo, la interacción compost por dosis resultó significativa únicamente en el contenido de magnesio y cobre.

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey, indicada en la Tabla 20, se observa que las plantas de espinaca fertilizadas con el VC a 10 t/ha mostraron incrementos significativos en el contenido de nitrógeno y hierro en comparación con el control, y con la dosis de 5 t/ha registraron los mayores niveles de fósforo, calcio y magnesio. Ambos productos fertilizantes a 5 t/ha originaron los mayores contenidos de manganeso y de cinc. Los productos orgánicos a las dosis valoradas dieron plantas con contenidos similares de potasio, pero con valores superiores al conseguido en el control.

Tabla 19. Contenido de nutrientes en la lechuga fertilizada con compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		2,59 a	0,55 a	2,31 c	1,23 a	0,41 a	6,94 a	28,0 a	68,0 ab	68,7 bc
VC5		2,82 b	0,57 a	2,30 c	1,29 a	0,42 a	8,33 b	28,0 a	60,6 ab	74,5 c
VC10		2,65 a	0,55 a	2,11 b	1,30 ab	0,41 a	6,94 a	25,9 a	59,7 ab	64,7 ab
C5		2,78 b	0,67 b	2,14 b	1,40 b	0,41 a	6,94 a	26,2 a	69,8 b	67,1 bc
C10		2,78 b	0,61 ab	1,98 a	1,28 a	0,40 a	7,03 a	27,3 a	56,4 a	58,3 a
Partición	gl	Cuadrados medios								
Productos vs Control	1	0,20 ***	0,02 **	0,22 ***	0,05 **	0,00 NS	0,99 NS	10,2 NS	291 NS	46,6 NS
Compost vs VC	1	0,01 NS	0,06 ***	0,19 ***	0,02 NS	0,00 NS	3,78 **	0,39 NS	81,2 NS	433 **
Dosis	1	0,07 **	0,01 *	0,26 ***	0,03 *	0,00 NS	3,77 **	2,12 NS	462 *	770 ***
Lineal		**	*	***	*	NS	**	NS	*	***
Productos x Dosis	1	0,07 **	0,00 NS	0,00 NS	0,04 *	0,00 NS	4,94 **	23,0 NS	350 *	1,99 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. C: compost a base de 44,5% de alperujos más 44,5% de estiércol de conejo más 11% de paja de arroz. VC: vermicompost, ambos a 5 y 10 t/ha de materia orgánica. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor

Tabla 20. Contenido de nutrientes en la espinaca fertilizada con compost y vermicompost de alperujos (experimento 3)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		1,40 ab	0,71 a	2,42 a	2,37 bc	0,80 d	7,36 b	82,6 b	74,5 bc	170 a
VC5		1,43 b	1,06 c	2,59 b	2,70 d	0,84 e	6,94 a	90,7 b	72,6 abc	250 b
VC10		1,56 c	1,01 c	2,67 b	2,60 cd	0,74 c	6,94 a	64,3 a	79,6 c	206 a
C5		1,36 a	0,93 b	2,62 b	2,17 ab	0,69 b	6,80 a	80,0 b	56,4 a	264 b
C10		1,43 b	0,90 b	2,58 b	2,09 a	0,65 a	7,36 b	58,3 a	60,1 ab	187 a
Partición	gl	Cuadrados medios								
Productos vs Control	1	0,01 *	0,52 ***	0,27 ***	0,00 NS	0,03 ***	0,87 **	617 **	383 NS	23290 ***
Compost vs VC	1	0,06 ***	0,12 ***	0,01 NS	2,43 ***	0,11 ***	0,17 NS	625 **	2855 ***	48,7 NS
Dosis		0,06	0,01	0,00	0,07	0,05	0,70	5200	256	32490
Lineal	1	***	**	NS	NS	***	**	***	NS	***
Productos x Dosis	1	0,01 NS	0,00 NS	0,04 NS	0,00 NS	0,01 ***	0,69 **	48,1 NS	23,8 NS	2361 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. C: compost a base de 44,5% de alperujos más 44,5% de estiércol de conejo más 11% de paja de arroz. VC: vermicompost, ambos a 5 y 10 t/ha de materia orgánica. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor

En otras investigaciones (Walker y Bernal, 2004), con los composts de alperujos se obtuvieron efectos beneficiosos en el contenido de fósforo en tallos de col, así como aumentos significativos en los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de pimiento tratadas con composts y VC de alperujos (Nogales *et al.*, 2004). Estos efectos beneficiosos fueron observados con el compost en lechuga y con el VC en espinaca, y pueden ser explicados por el elevado contenido de fósforo en estos materiales (Walker y Bernal, 2004) o, posiblemente, por un aumento en la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo (Ehaliotis *et al.*, 2005). Asimismo, el incremento en el contenido de magnesio en ambas especies puede estar asociado a un mayor nivel de magnesio intercambiable en el suelo derivado de la aplicación del composts como lo indican diferentes autores (Cayuela *et al.*, 2004; Walker y Bernal, 2004).

Por último, en la interpretación de los contenidos obtenidos de macro y micronutrientes en la lechuga con respecto a los niveles estándar, cabe indicar que se registraron valores considerados como suficientes, a excepción del potasio que se encontró en un nivel bajo. En la espinaca, de acuerdo con los umbrales estándar indicados por Gülser (2005), el nitrógeno se encontró en un nivel bajo, mientras que el fósforo, potasio y calcio dieron niveles altos, y únicamente el magnesio se mantuvo dentro del intervalo de suficiencia. Con relación al contenido de micronutrientes, los valores de cobre, manganeso, y hierro se encontraron dentro de los niveles de suficiencia, mientras que el cinc dio un nivel alto.

3.2.2.3 Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos

Lechuga

Los valores de absorción de nutrientes por las plantas de lechuga fertilizadas con VC y compost de alperujos se indican en las Figuras 19 y 20. Los dos productos dieron valores promedio de absorción de todos los nutrientes similares a los observados en el control, excepto en el fósforo y calcio. Las lechugas fertilizadas con el compost de alperujos a las dosis de 5 y 10 t/ha presentaron valores de fósforo superiores al control y a las tratadas con

VC; mientras que con ambos productos a las dos dosis aplicadas no consiguieron diferencias significativas en los niveles de calcio, pero los valores resultaron superiores a los del control. Las plantas con el VC a la dosis de 5 t/ha registraron valores de cinc y cobre superiores a los del control y a los obtenidos con el compost (Figuras 19 y 20). Por último, indicar que también se observó que con el VC al aumentar la dosis de 5 a 10 t/ha, se presentó una tendencia descendente en los valores de absorción de todos los nutrientes.

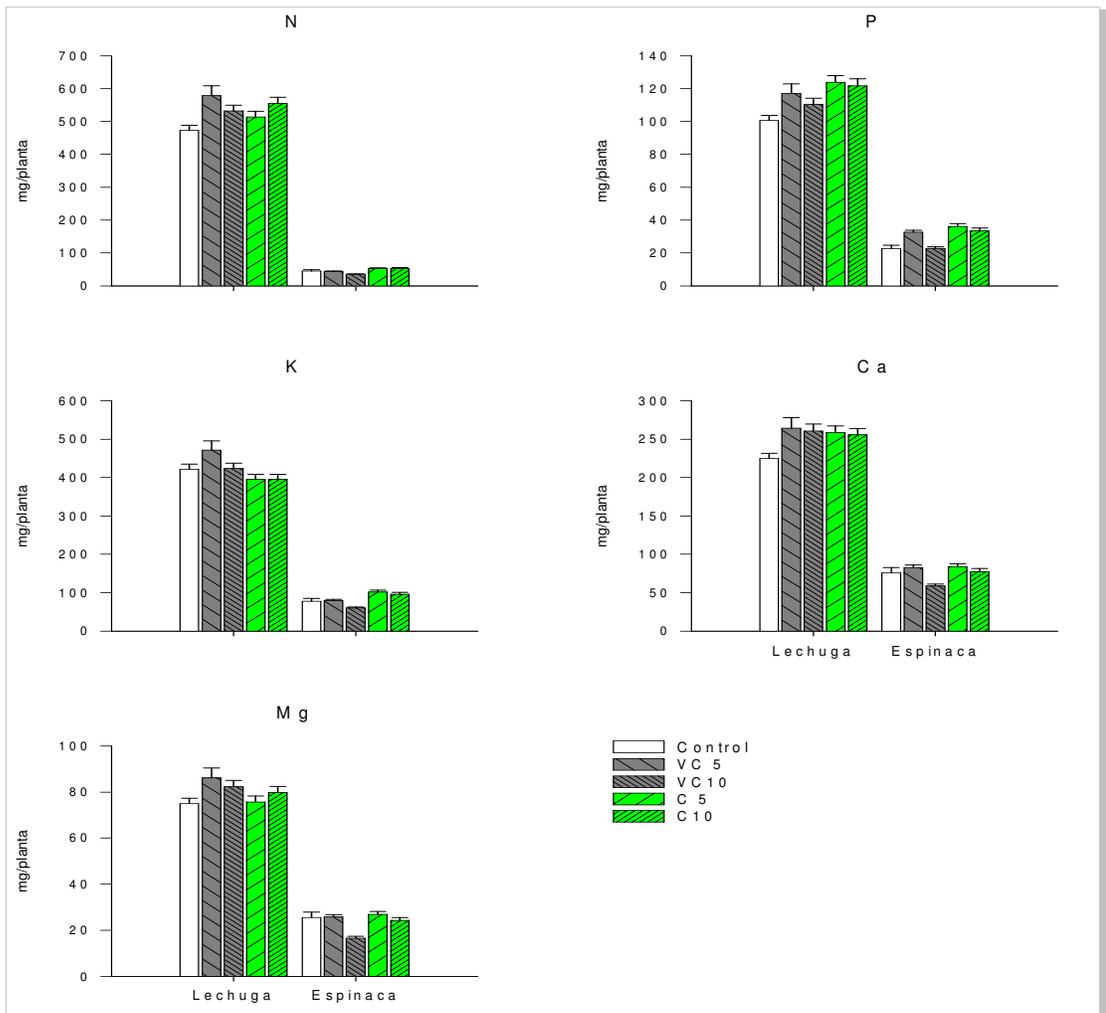


Figura 19. Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga y espinaca tratadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos (experimento 3)

Espinaca

Los valores de absorción de nutrientes por las plantas de espinaca se muestran en las Figura 19 y 20. Con los dos productos fertilizantes se consiguieron plantas con valores de absorción de todos los nutrientes similares a los observados en el control, excepto en el fósforo, potasio y cinc.

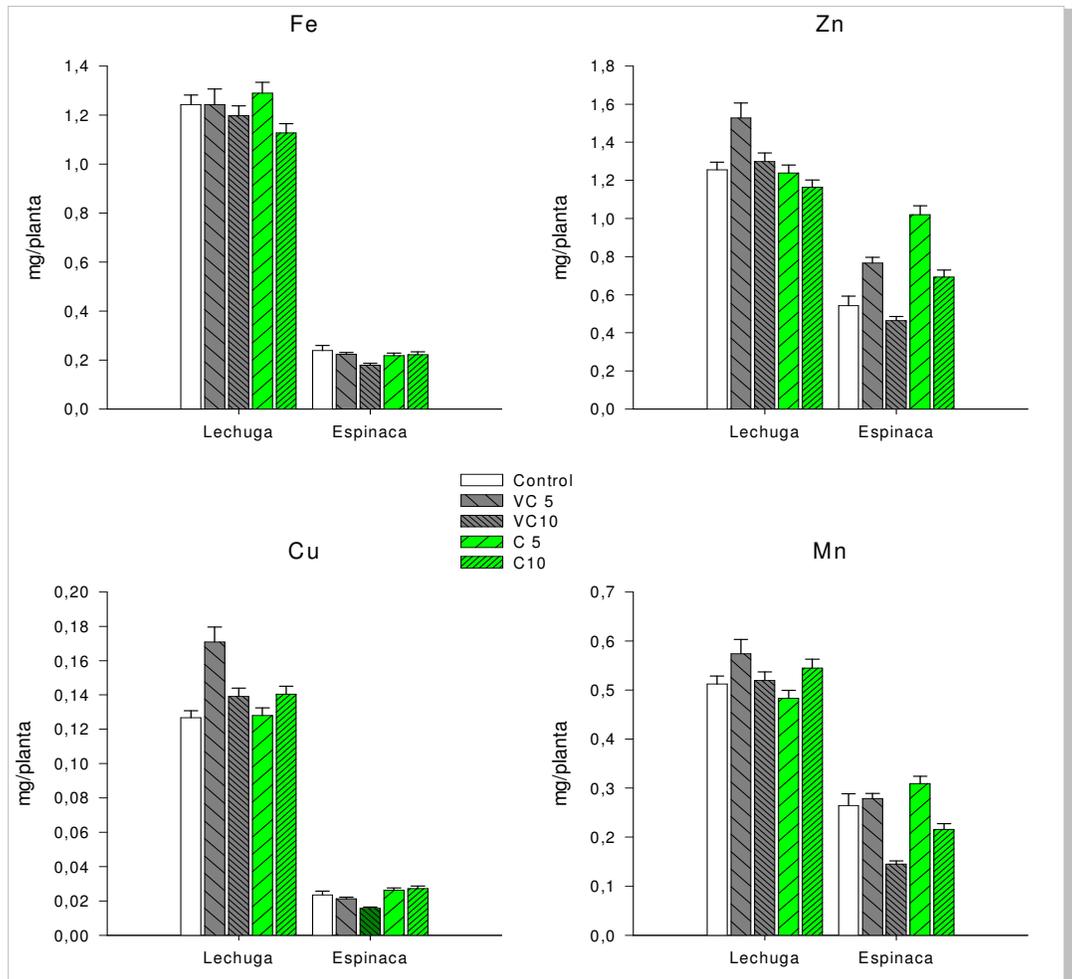


Figura 20. Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga y espinaca tratadas con diferentes dosis de vermicompost y compost de alperujos (experimento 3)

Las plantas de espinaca tratadas con el compost a las dosis de 5 y 10 t/ha presentaron mejoras apreciables en la absorción de fósforo y potasio en comparación con los niveles observados en el control y con el VC, a pesar de que éste último tenía una mayor concentración de fósforo por kg de producto aplicado. Asimismo, las plantas fertilizadas con el compost a 5 t/ha dieron valores de absorción de cinc más altos que el control y el VC. Sin embargo, también cabe señalar que en las plantas de espinaca con ambos productos al aumentar la dosis de 5 a 10 t/ha, se registró una tendencia descendente en los valores de absorción de todos los nutrientes, obteniéndose el efecto más negativo en el manganeso.

3.2.2.4 Efectos en la eficiencia de utilización del nitrógeno del compost y vermicompost de alperujos

El nitrógeno tiene una influencia directa tanto en el crecimiento como en la acumulación de materia seca en los cultivos. Al igual que con los fertilizantes minerales, la evaluación del valor como fuente de nitrógeno de los productos orgánicos puede realizarse mediante los indicadores de eficiencia en la utilización del nitrógeno (EUN).

La EUN de los composts, al igual que con la FM, se calculó como: a) eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno (EAUN); b) en forma de eficiencia fisiológica de utilización del nitrógeno (EFUN), y c) como eficiencia de recuperación del nitrógeno (ERN), tal y como se indicó en el apartado 3.1.4 de resultados.

Los niveles de EUN del VC y del compost de alperujos aplicados en la lechuga se indican en la Tabla 21. Se observa que con los productos orgánicos se obtuvieron valores positivos de EAUN, EFUN y ERN, pero con valores muy bajos, no alcanzándose diferencias significativas en la EUN. Con el VC se observó una tendencia descendente en los tres parámetros de EUN al aumentar la dosis de este producto.

Tabla 21. Eficiencia de utilización del nitrógeno del vermicompost y compost de alperujos aplicados en lechuga y espinaca en el experimento 3

Tratamientos	Lechuga			Espinaca		
	EAUN	EFUN	ERN	EAUN	EFUN	ERN
	(g MS/g N aplicado)	(g MS/g N absorbido)	(%)	(g MS/g N aplicado)	(g MS/g N absorbido)	(%)
VC5	5,15 a	3,49 a	24,3 a	-0,35 ab	-3,48 b	0,03 ab
VC10	2,44 a	3,18 a	8,0 a	-1,42 a	-27,8 a	-1,32 a
C5	0,41 a	0,15 a	9,0 a	1,75 c	12,0 c	2,26 c
C10	2,20 a	2,87 a	10,7 a	0,72 bc	8,65 bc	1,30 bc

Valores con la misma letra por columna no son diferentes significativamente con $p < 0,05\%$ por Tukey. EAUN: eficiencia agronómica de utilización del nitrógeno, EFUN: eficiencia fisiológica de utilización del nitrógeno, ERN: eficiencia de recuperación del nitrógeno

Los valores de EUN del VC y compost en las plantas de espinaca se indican en la Tabla 21. Se constata que el VC registró niveles más bajos de EAUN, EFUN y ERN que los obtenidos con el compost. El compost a 5 t/ha dio los mayores niveles de EUN en comparación con el resto de tratamientos. Se observó una tendencia a disminuir los valores de las EUN al aumentar la dosis de los productos fertilizantes.

Al comparar los valores de EUN obtenidos con el compost en el experimento 3 (cultivo de lechuga) (Tabla 21) con los encontrados en el experimento 1 y 2 (Tabla 15) se aprecia un claro contraste entre ambos. Así, mientras que en el experimento 3, los tres tipos de EUN dieron valores positivos, en los experimentos 1 y 2, el compost CPII (similar al utilizado en el experimento 3) originó valores positivos en unos casos y negativos en otros.

3.2.2.5 Relación entre el contenido foliar y las aportaciones de nutrientes

En la Tabla 22 se muestra un resumen de los coeficientes de correlación que se consiguieron entre las aportaciones de nutrientes con los respectivos contenidos en los experimentos del 1 al 3. En el experimento 1 se obtuvieron unos coeficientes negativos y significativos entre los contenidos foliares de magnesio y cinc y las aportaciones al suelo. En el experimento 2, destacan por un lado los coeficientes negativos y significativos obtenidos en los casos del nitrógeno y magnesio y, por otro, los coeficientes de correlación positivos y

significativos con los del fósforo, manganeso y hierro. Estos resultados pueden ser causados tanto por el efecto del compost en la disponibilidad de los nutrientes por las plantas como por el efecto de la dilución o concentración en función de la producción de biomasa, así como por las interacciones entre nutrientes.

En el experimento 3, en la lechuga se observan coeficientes de correlación negativos y significativos entre los nutrientes incorporados al suelo de cultivo con los contenidos respectivos de potasio, hierro y cinc; mientras que en la espinaca, caben resaltar los coeficientes positivos y significativos obtenidos entre la aplicación de los nutrientes con el correspondiente contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, pero que también dieron coeficientes negativos y significativos con los contenidos de magnesio y manganeso.

Como se observa en la Tabla 22, también es pertinente indicar que los coeficientes de correlación resultaron inconsistentes entre los experimentos realizados.

Tabla 22. Coeficientes de correlación entre el contenido de nutrientes y la aportación de nutrientes con los productos a base de alperujos

Nutriente	Lechuga (experimento 1)	Lechuga (experimento 2)	Lechuga (experimento 3)	Espinaca (experimento 3)
Nitrógeno	0,18 NS	-0,64 *	0,26 NS	0,52 *
Fósforo	0,10 NS	0,69 *	-0,03 NS	0,79 *
Potasio	-0,11 NS	-0,10 NS	-0,88 *	0,62 *
Calcio	0,20 NS	0,12 NS	0,13 NS	-0,26 NS
Magnesio	-0,66 *	-0,37 *	-0,08 NS	-0,64 *
Cobre	0,0 NS	-0,07 NS	-0,08 NS	0,02 NS
Manganeso	0,15 NS	0,63 *	-0,19 NS	-0,83 *
Hierro	0,06 NS	0,38 *	-0,40 *	0,16 NS
Zinc	-0,29 *	0,22 NS	-0,30 *	0,14 NS

* : coeficientes de correlación significativos al 0,05%, NS: no significativos

En diferentes investigaciones se han indicado relaciones antagónicas entre el hierro foliar con los contenidos o absorciones de manganeso, cinc, cobre, magnesio y potasio (Fageria, 2001). Con los residuos de almazara también se han presentado relaciones negativas entre el hierro y el manganeso foliar en maíz y arroz (Tejada y González, 2003b, 2004b), así como entre el potasio y el sodio en diferentes especies de *Brassica* (Walker y Bernal, 2004), y que se han asociado con disminuciones o con mejoras en el crecimiento y producción de los cultivos. Sin embargo, aplicaciones de fósforo suelen producir relaciones positivas con el magnesio y manganeso, así como disminuciones en la absorción y contenido de hierro (Fageria, 2001), lo cual no resulta coincidente con lo observado en la lechuga en el experimento 1 y en la espinaca en el experimento 3.

3.2.2.6 Relación entre la absorción de nutrientes por las plantas y las aportaciones realizadas

En la Tabla 23 se presenta un resumen de los coeficientes de correlación entre las absorciones de nutrientes y las respectivas aportaciones obtenidas en los experimentos del 1 al 3. Así, en el experimento 1, el calcio, magnesio, cobre, manganeso y cinc presentaron coeficientes de correlación negativos y significativos; en el experimento 2, las correlaciones resultaron negativas en todos los nutrientes, excepto en el fósforo, si bien en el potasio y cinc a pesar de resultar negativas no mostraron significación estadística; y en el experimento 3, los coeficientes de correlación que resultaron positivos con significación estadística en las plantas de lechuga, fueron el nitrógeno y calcio, mientras que en las plantas de espinaca las relaciones resultaron negativas y significativas en magnesio, manganeso y hierro. A tenor de estos resultados, cabe señalar una alta variabilidad en los respectivos coeficientes de correlación registrados en los tres experimentos realizados, si bien en los experimentos 1 y 2 hubo bastante coincidencia en los coeficientes correspondientes al calcio, magnesio, cobre y manganeso.

Tabla 23. Coeficientes de correlación entre la absorción de nutrientes y la aportación de nutrientes con los productos a base de alperujos

Nutriente	Lechuga (experimento 1)	Lechuga (experimento 2)	Lechuga (experimento 3)	Espinaca (experimento 3)
Nitrógeno	0,11 NS	-0,57 *	0,38 *	-0,04 NS
Fósforo	0,04 NS	0,73 *	0,26 NS	0,02 NS
Potasio	-0,14 NS	-0,03 NS	-0,32 NS	0,27 NS
Calcio	-0,52 *	-0,41 *	0,39 *	-0,27 NS
Mangésio	-0,71 *	-0,37 *	0,24 NS	-0,45 *
Cobre	-0,48 *	-0,26 *	0,12 NS	-0,10 NS
Manganeso	-0,21 *	-0,68 *	0,14 NS	-0,63 *
Hierro	-0,18 NS	-0,42 *	-0,31 NS	-0,43 *
Zinc	-0,58 *	-0,19 NS	-0,01 NS	-0,23 NS

* : coeficientes de correlación significativos al 0,05%, NS: no significativos

Los casos en que se obtuvieron relaciones positivas (el fósforo en el experimento 2, y el nitrógeno y calcio en el experimento 3) entre la absorción de nutrientes y la cantidad aportada de los mismos, tienen una explicación bastante lógica, pudiendo haber contribuido a tal efecto tanto el aporte de nutrientes como la posible mejora en la disponibilidad de los mismos derivada de los materiales orgánicos aplicados. Pero los casos en que se obtuvieron índices de correlación negativos (la mayoría) tienen más difícil explicación, ya que ponen de manifiesto que los efectos negativos derivados de posibles antagonismos entre nutrientes (Fageria, 2001) o de inmovilización, fijación o bloqueo de los nutrientes en el suelo superaron de sobremanera el efecto, previsiblemente, positivo derivado de la aportación de los nutrientes contenidos en los productos fertilizantes.

3.3. Las sustancias húmicas de los composts

3.3.1 Valoración de la aplicación al suelo de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost de alperujos (experimento 4)

3.3.1.1 Efectos en los parámetros de crecimiento y producción en los cultivos

Lechuga

Los resultados de la aplicación de sustancias húmicas (SHs) extraídas del compost y vermicompost (VC) de alperujos aplicadas al suelo en las plantas de lechuga se muestran en la Tabla 24. En el análisis por factores principales, las lechugas tratadas con SHs en comparación con el control consiguieron diferencias significativas en biomasa fresca de tálamo y en altura total de planta. Las plantas que recibieron productos comerciales (COMs), en comparación con el control, registraron diferencias en biomasa fresca y seca de tálamo, en altura total y diámetro de tálamo. El origen de las SHs (vermicompost o compost) presentó diferencias significativas en biomasa fresca de tálamo y en altura de tálamo. Y los efectos dosis así como la interacción dosis por SHs no resultaron significativos.

En el análisis entre tratamientos por el test de Tukey, indicado en la Tabla 24, se puede observar una ausencia de significación estadística en la mayoría de los casos, únicamente se presentaron diferencias significativas en la biomasa fresca del tálamo entre el tratamiento CH KOH 25 y el control, así como en la altura entre el tratamiento CH KOH 12,5 y el VC EHT H 12,5.

En la Figura 21 se muestran los resultados de biomasa fresca y seca producida en los cultivos de lechuga y espinaca con respecto al control, pudiendo observarse que las lechugas tratadas con SHs registraron rendimientos relativos de biomasa seca algo superiores a los de biomasa fresca, no obstante en ambos casos los valores resultaron próximos a 100, valor del control. Estos resultados ponen de manifiesto un bajo efecto de las SHs a las dosis estudiadas en los parámetros de crecimiento y producción en la lechuga.

Tabla 24. Parámetros de producción y crecimiento en la lechuga tratada mediante la fertilización del suelo con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Tratamientos	Biomasa total		Biomasa de tálamo		Altura		Diámetro tálamo (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)	Fresca (g)	Seca (g)	Total (cm)	Tálamo (cm)		
Control	432 a	18,0 a	22,7 a	1,32 a	33,3 ab	8,75 a	2,83 a	
VCEHT H12,5	449 a	17,8 a	26,0 ab	1,57 a	30,8 a	9,80 a	2,97 a	
VCEHT H25	438 a	19,0 a	28,4 ab	1,55 a	31,7 ab	9,42 a	2,80 a	
CEHT H12,5	432 a	20,0 a	28,9 ab	1,68 a	32,0 ab	9,42 a	2,75 a	
CEHT H25	445 a	19,9 a	27,9 ab	1,77 a	32,7 ab	8,75 a	2,97 a	
VCEHT KOH12,5	414 a	19,8 a	25,1 ab	1,80 a	33,1 ab	9,08 a	2,83 a	
VCEHT KOH25	398 a	18,5 a	25,7 ab	1,35 a	32,5 ab	8,58 a	2,92 a	
CEHT KOH12,5	441 a	17,6 a	30,8 ab	1,67 a	32,7 ab	10,25 a	2,97 a	
CEHT KOH25	429 a	18,4 a	32,4 ab	1,68 a	32,7 ab	10,17 a	2,47 a	
VCH KOH12,5	403 a	18,7 a	26,3 ab	1,38 a	32,3 ab	8,50 a	2,67 a	
VCH KOH25	416 a	19,5 a	28,1 ab	1,68 a	32,3 ab	8,25 a	2,75 a	
CH KOH12,5	430 a	20,6 a	30,1 ab	1,67 a	33,7 b	9,25 a	2,83 a	
CH KOH25	431 a	17,8 a	33,2 b	1,55 a	32,5 ab	9,83 a	2,93 a	
VCEF KOH12,5	426 a	19,6 a	27,4 ab	1,88 a	32,5 ab	9,25 a	2,42 a	
VCEF KOH25	444 a	19,3 a	30,1 ab	1,63 a	32,0 ab	9,42 a	2,58 a	
CEF KOH12,5	421 a	16,9 a	29,2 ab	1,50 a	31,7 ab	9,42 a	2,50 a	
CEF KOH25	439 a	20,4 a	28,8 ab	1,65 a	32,3 ab	8,83 a	2,75 a	
COM A12,5	415 a	19,4 a	28,7 ab	1,62 a	32,3 ab	9,08 a	2,47 a	
COM A25	421 a	17,5 a	28,9 ab	1,47 a	31,7 ab	9,75 a	2,47 a	
COM B12,5	443 a	19,0 a	30,8 ab	1,83 a	32,3 ab	9,50 a	2,42 a	
COM B25	412 a	19,7 a	28,7 ab	1,63 a	32,2 ab	9,08 a	2,50 a	
COM C12,5	433 a	19,6 a	29,9 ab	1,73 a	32,2 ab	10,25 a	2,33 a	
COM C25	423 a	19,0 a	30,0 ab	1,67 a	32,5 ab	9,58 a	2,67 a	
Partición	gl	Cuadrados medios						
SHs vs Control	1	137 NS	5,66 NS	222 **	0,58 NS	6,18 *	1,99 NS	0,14 NS
COMs vs Control	1	311 NS	5,40 NS	241 **	0,60 *	6,67 *	3,22 NS	0,66 *
SHs VC vs SHs Compost	1	2341 NS	0,12 NS	218 **	0,04 NS	3,01 NS	4,91 *	0,02 NS
Dosis	1	30,0 NS	0,00 NS	22,5 NS	0,13 NS	0,12 NS	1,24 NS	0,12 NS
SHs x Dosis	10	2,03 NS	0,44 NS	1,19 NS	0,01 NS	0,01 NS	0,00 NS	0,00 NS

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenidos con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenidos con KOH de vermicompost y compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

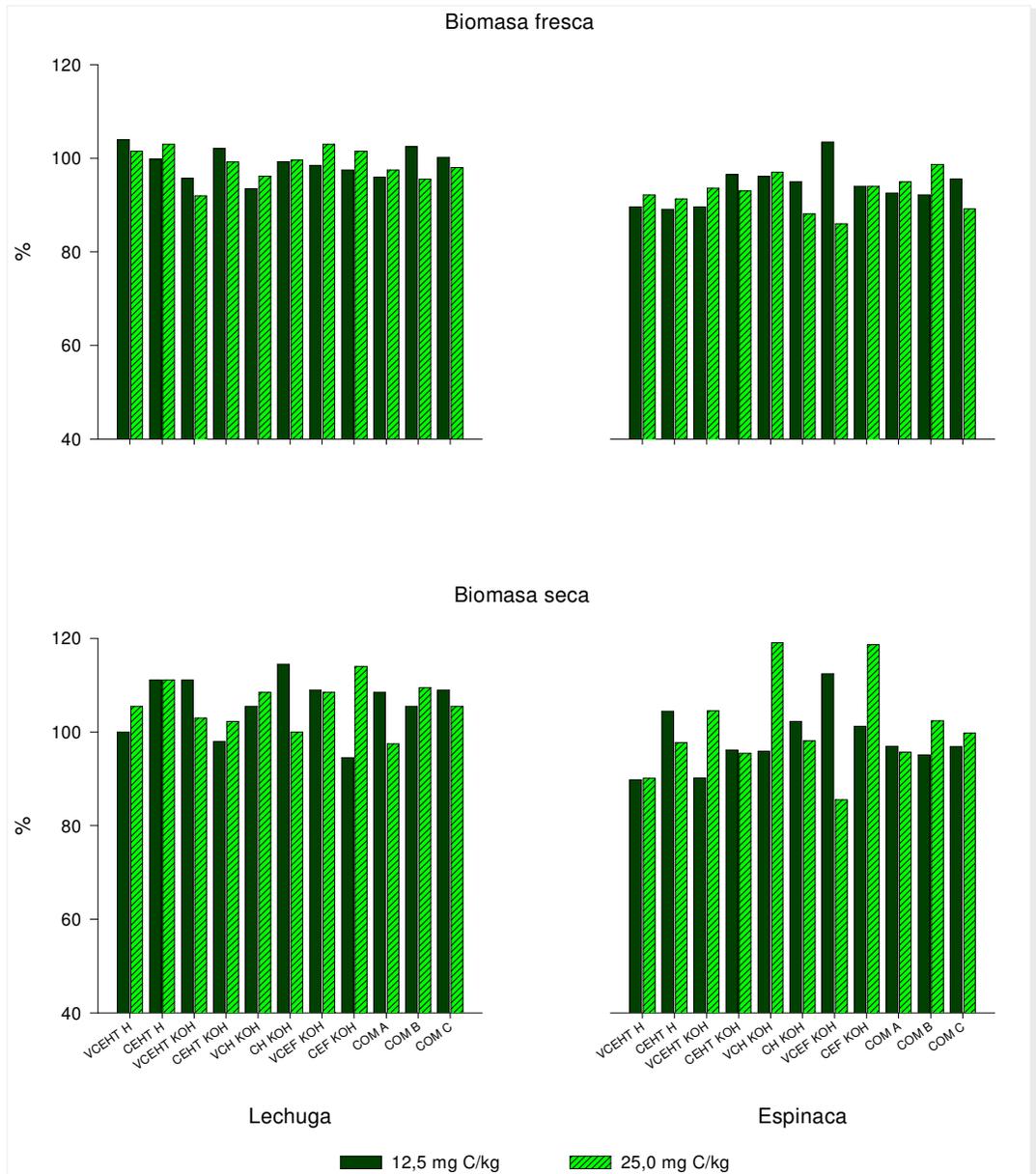


Figura 21. Biomasa fresca y seca relativa (control = 100%) de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Espinaca

En la Tabla 25 se presentan los resultados correspondientes a la valoración de las SHs en la espinaca. Las plantas que recibieron SHs del VC y compost de alperujos a las dosis estudiadas no presentaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de producción (Figuras 21 y 22). Si bien las plantas tratadas con los ácidos fúlvicos del VC a 12,5 mg C dieron una biomasa fresca ligeramente superior al resto de sustancias valoradas, el nivel alcanzado con este producto resultó similar al obtenido en el control (Figura 21).

Las plantas de espinaca que recibieron COMs a las dosis valoradas tampoco manifestaron efectos beneficiosos en los parámetros de producción de biomasa y altura de planta en comparación con los valores obtenidos en el control y con las restantes SHs extraídas del compost y VC de alperujos.

Tabla 25. Parámetros de producción y crecimiento en espinaca fertilizada con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Tratamientos	Biomasa total		Longitud de planta (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)		
Control	115 a	9,31 a	32,3 a	
VCEHT H12,5	103 a	8,36 a	31,7 a	
VCEHT H25	106 a	8,39 a	32,0 a	
CEHT H12,5	102 a	9,72 a	32,5 a	
CEHT H25	105 a	9,10 a	34,3 a	
VCEHT KOH12,5	103 a	8,40 a	31,5 a	
VCEHT KOH25	108 a	9,74 a	32,0 a	
CEHT KOH12,5	111 a	8,95 a	31,8 a	
CEHT KOH25	107 a	8,89 a	31,8 a	
VCH KOH12,5	110 a	8,93 a	32,5 a	
VCH KOH25	112 a	11,09 a	33,8 a	
CH KOH12,5	109 a	9,52 a	32,5 a	
CH KOH25	101 a	9,13 a	31,3 a	
VCEF KOH12,5	119 a	10,47 a	37,2 a	
VCEF KOH25	99 a	7,96 a	31,5 a	
CEF KOH12,5	108 a	9,43 a	38,2 a	
CEF KOH25	108 a	11,05 a	32,0 a	
COM A12,5	106 a	9,02 a	32,7 a	
COM A25	109 a	8,91 a	32,5 a	
COM B12,5	106 a	8,85 a	31,3 a	
COM B25	113 a	9,53 a	34,0 a	
COM C12,5	110 a	9,02 a	33,0 a	
COM C25	103 a	9,29 a	32,2 a	
Partición	gl	Cuadrados medios		
SHs vs Control	1	348,76 NS	96,68 NS	1,43 NS
COMs vs Control	1	259,25 NS	93,36 NS	0,40 NS
SHs VC vs SHs Compost	1	21,38 NS	2,26 NS	2,04 NS
Dosis	1	74,70 NS	1,59 NS	14,67 NS
SHs x Dosis	10	5,60 NS	0,00 NS	0,08 NS

Valores por columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

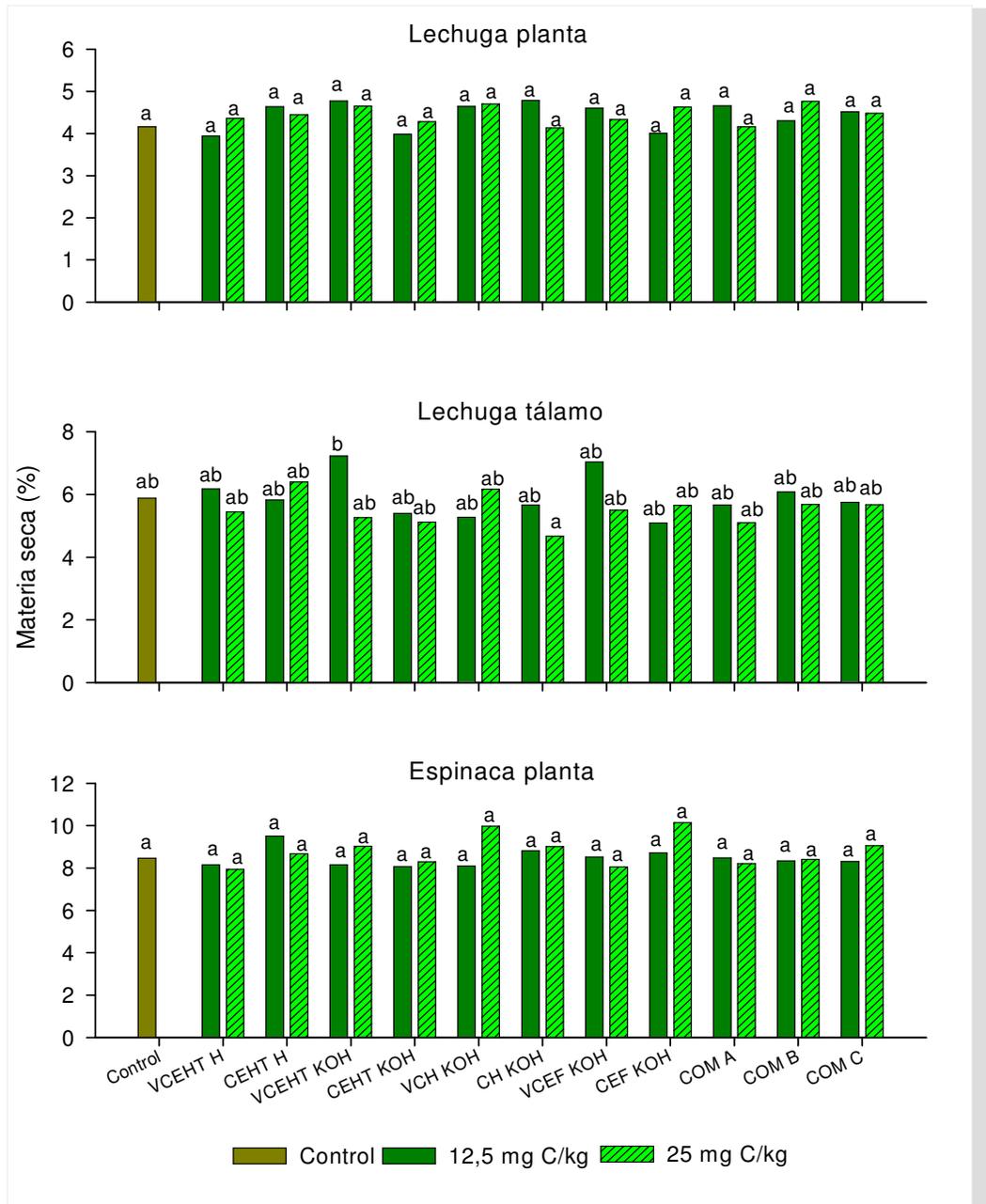


Figura 22. Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

En otros estudios (Arancon *et al.*, 2003; Gálvez-López, 1996; Pomares *et al.*, 2006; Pomares, 2008) también se constataron efectos nulos o disminuciones en el crecimiento de algunos cultivos como pimiento, tomate, coliflor, patata, alcachofa, hinojo, sandía y col china al aplicar SHs comerciales o derivadas de diferentes residuos agrícolas.

3.3.1.2 Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos

Lechuga

Los resultados correspondientes a la valoración de las SHs en el contenido de nutrientes en las hojas de la lechuga se muestran en las Tablas 26a y 26b. En el análisis por factores principales (Tabla 26b), se observa que las plantas que recibieron SHs en comparación al control presentaron diferencias significativas en el contenido foliar de fósforo, potasio y micronutrientes. Asimismo, las plantas de lechuga tratadas con COMs registraron diferencias significativas en el fósforo, cobre, manganeso y hierro; mostrando estos nutrientes unos valores promedio superiores al control. Y el origen de las SHs presentó un efecto significativo en el contenido foliar de fósforo, magnesio y micronutrientes; en todos estos nutrientes las SHs del compost resultaron superiores a las obtenidas con SHs del vermicompost, excepto en fósforo. El efecto dosis alcanzó significación estadística en el contenido de los macronutrientes y en el hierro, pero con un patrón de variación diferente, así mientras que en el nitrógeno, fósforo y potasio disminuyó el contenido al aumentar la dosis de SHs, en el calcio, magnesio y hierro se registró la tendencia opuesta. Y la interacción SHs por dosis resultó significativa en todos los nutrientes analizados en las hojas de lechuga, excepto en el cinc.

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey, indicado en la Tabla 26a, las plantas de lechuga que recibieron el extracto húmico total obtenido con extracción alcalina del compost (C EHT KOH) dieron los resultados más consistentes. Este producto a 12,5 mg de C/kg de suelo consiguió el mayor valor de nitrógeno, magnesio y hierro, así como los máximos valores de manganeso y cinc con la dosis de 25 mg C/kg de suelo. Las plantas que recibieron ácidos fúlvicos del VC (VC EF KOH) o el extracto húmico total extraído con agua del compost (C EHT H) a 12,5 mg C/kg de suelo, respectivamente, dieron el mayor contenido de fósforo y potasio.

Tabla 26a. Contenido de nutrientes en lechuga tratada mediante la aplicación al suelo de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	3,99 bcde	0,63 ab	2,82 bcde	1,56 def	0,48 abcd	9,98 ab	35,2 abcd	95,7 abcde	99,8 abcd
VCEHT H12,5	4,02 bcde	1,05 ef	3,02 ghi	1,71 gh	0,53 efgh	11,59 bcdef	44,2 fghij	110,9 cdef	117,3 efgh
VCEHT H25	4,12 de	0,62 ab	3,07 hi	1,63 efgh	0,52 cdefg	9,98 ab	48,7 ij	102,0 abcde	114,8 cdefgh
CEHT H12,5	4,04 cde	0,62 ab	3,12 i	1,34 a	0,47 abc	10,65 bcde	35,4 abcd	89,0 abc	110,4 bcdfg
CEHT H25	3,89 abcde	0,60 ab	2,91 defg	1,47 abcd	0,50 bcdef	10,54 bcde	36,6 abcde	105,9 bcdef	114,5 cdefgh
VCEHT KOH12,5	3,96 bcde	0,59 a	2,96 fgh	1,39 abc	0,44 a	7,93 a	37,6 abcdef	81,5 a	102,9 abcdef
VCEHT KOH25	4,08 de	0,69 ab	3,00 fghi	1,52 cdef	0,47 abc	10,54 bcde	33,6 ab	134,8 g	114,0 cdefgh
CEHT KOH12,5	4,51 f	0,72 b	2,94 efgh	1,66 fgh	0,57 h	12,21 cdef	42,2 defghi	167,0 h	120,7 gh
CEHT KOH25	4,07 de	0,68 ab	2,78 abc	1,66 fgh	0,55 gh	11,54 bcdef	49,7 j	97,0 abcde	129,8 h
VCH KOH12,5	3,95 bcde	0,62 ab	2,71 ab	1,36 ab	0,47 ab	10,82 bcde	40,8 cdefgh	84,9 ab	123,5 gh
VCH KOH25	4,01 bcde	0,68 ab	2,66 a	1,50 bcde	0,46 ab	10,65 bcde	41,9 defghi	125,1 fg	113,2 cdefg
CH KOH12,5	3,91 abcde	0,66 ab	2,79 bcd	1,40 abc	0,46 ab	10,65 bcde	45,4 ghij	108,0 cdef	123,4 gh
CH KOH25	4,07 de	0,92 cd	3,00 fghi	1,58 defg	0,55 fgh	12,32 def	47,4 hij	112,6 defg	121,5 gh
VCEF KOH12,5	4,13 e	1,14 f	2,99 fgh	1,48 abcd	0,47 abc	10,49 bcde	39,9 bcdefg	104,9 bcdef	115,4 defgh
VCEF KOH25	3,91 abcde	1,03 def	2,98 fgh	1,56 def	0,53 defgh	11,98 bcdef	34,2 abc	99,8 abcde	114,0 cdefgh
CEF KOH12,5	4,11 de	0,67 ab	3,05 hi	1,59 defg	0,52 defgh	11,98 bcdef	36,6 abcde	104,9 bcdef	124,3 gh
CEF KOH25	3,87 abcd	0,70 ab	2,77 abc	1,39 abc	0,48 abcde	12,43 ef	39,4 bcdefg	96,0 abcde	101,8 abcde
COM A12,5	3,94 abcde	0,85 c	2,75 ab	1,56 def	0,45 ab	10,54 bcde	42,2 defghi	93,5 abcd	107,9 abcdefg
COM A25	4,11 de	0,86 c	2,82 bcde	1,75 h	0,53 defgh	13,48 f	45,2 ghij	125,4 fg	118,2 fgh
COM B12,5	4,02 bcde	0,94 cde	2,75 ab	1,46 abcd	0,46 ab	17,31 g	42,4 efghi	104,3 bcdef	93,8 a
COM B25	3,78 ab	0,68 ab	2,89 cdef	1,45 abcd	0,44 a	10,26 bcd	39,7 bcdefg	113,7 defg	95,1 ab
COM C12,5	3,82 abc	0,84 c	2,97 fgh	1,46 abcd	0,49 abcde	10,43 bcde	33,4 ab	104,3 bcdef	99,0 abc
COM C25	3,69 a	0,85 c	2,82 bcde	1,52 cdef	0,48 abcde	10,15 bc	30,8 a	116,0 efg	108,2 abcdefg

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001%. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenidos con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenidos con KOH de un vermicompost y de un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

Tabla 26b. Contenido promedio de nutrientes por factor en lechuga tratada mediante la aplicación al suelo de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Factores		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,99	0,63	2,82	1,56	0,48	9,98	35,2	95,7	99,8
SHs		4,00	0,77	2,90	1,52	0,49	11,29	40,3	108,3	112,9
COMs		3,89	0,84	2,83	1,53	0,48	12,03	39,0	109,5	103,7
SHs VC		4,02	0,80	2,92	1,52	0,49	10,50	40,1	105,5	114,4
SHs Compost		4,06	0,70	2,92	1,51	0,51	11,54	41,6	110,1	118,3
Dosis										
	12,5 mg C/kg	4,04	0,79	2,91	1,49	0,48	11,33	40,0	104,8	112,6
	25 mg C/kg	3,96	0,76	2,88	1,55	0,50	11,26	40,7	111,7	113,2
Partición	gl	Cuadrados medios								
SHs vs Control	1	0,00 NS	0,18 ***	0,06 **	0,01 NS	0,00 NS	14,80 **	225,47 ***	1363 **	1468,8 ***
COMs vs Control	1	0,08 NS	0,34 ***	0,00 NS	0,00 NS	0,00 NS	32,33 ***	107,86 *	1482 **	115,8 NS
SHs VC vs SHs Compost	1	0,05 NS	0,41 ***	0,00 NS	0,00 NS	0,03 ***	39,00 ***	80,31 *	745 *	554,6 *
Dosis	1	0,27 **	0,06 **	0,05 **	0,16 ***	0,01 ***	0,21 NS	21,40 NS	2319 ***	18,4 NS
SHs x Dosis	10	0,04 ***	0,00 **	0,00 *	0,01 **	0,00 *	4,69 ***	8,54 *	1197 ***	27,7 NS

Diferencias significativas por factor NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; SHs: sustancias húmicas, SHs VC sustancias húmicas del vermicompost, SHs Composts: sustancias húmicas del composts, COMs: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

De los COMs valorados, el COM A a 25 mg de C/kg originó el contenido más alto en calcio, y el COM B a 12,5 mg de C/kg el valor más alto en cobre.

Por otro lado, podemos indicar el efecto beneficioso de los ácidos húmicos del compost con extracción alcalina (C H KOH) en el estado nutricional de las plantas. Así, las plantas de lechuga tratadas con 25 mg C/kg de este producto, comparadas con el control, si bien no alcanzaron los mayores niveles, sí consiguieron unos incrementos significativos en el contenido de todos los nutrientes analizados. Resultados similares se obtuvieron con el producto COM A y con el extracto húmico total alcalino del VC (VC EHT KOH). Con estos tres productos se observó una tendencia ascendente en el nivel de los nutrientes al aumentar la dosis de cada SH. Con el resto de productos se observaron contenidos similares o inferiores al control y no mostraron un mismo patrón de variación en función de la dosis aplicada.

Con la aplicación de los ácidos fúlvicos del VC (VC EF KOH) se observó un aumento importante en el contenido de fósforo. En otras experiencias (Delgado *et al.*, 2002), este efecto se atribuyó a una influencia positiva de las sustancias fúlvicas de bajo peso molecular sobre la disponibilidad de fósforo para las plantas; en cambio, en experimentos realizados en campo, la aplicación de SHs comerciales a dosis de 45 L/ha en cultivos de coliflor, patata, sandía, pimiento y col china no provocó ningún efecto significativo en el contenido de nutrientes (Albiach *et al.*, 2008).

Por último, señalar que los contenidos de nitrógeno y cobre, en comparación con los indicados por Maynard y Hochmuth (1997), están incluidos dentro del rango de niveles adecuados para el cultivo de lechuga, pero los contenidos de potasio y calcio registraron unos niveles bajos. Asimismo, los contenidos de fósforo, magnesio, cinc, hierro y manganeso se ubicaron en los rangos de niveles altos indicados para este cultivo.

Espinaca

En las Tablas 27a y 27b se presentan los resultados obtenidos en el contenido de nutrientes en las hojas de espinaca tratadas con SHs. En el análisis por factores principales (Tabla 27b), se puede observar que las plantas con SHs y con COMs, en comparación con el control, alcanzaron diferencias

significativas en el contenido de macronutrientes (excepto el nitrógeno con la aplicación de COMs) y hierro, pero, a diferencia de lo observado en la lechuga, únicamente consiguieron valores superiores al control en el fósforo y hierro foliar. Las plantas de espinaca con SHs del VC, en comparación con las que recibieron SHs del compost, también presentaron diferencias significativas en el contenido de macronutrientes y de hierro foliar; no obstante, en este caso las SHs del VC originaron valores superiores a las del composts en el contenido de fósforo, potasio y calcio. El efecto dosis dio significación estadística en el contenido de nitrógeno, calcio, manganeso y hierro, pero con diferentes patrones de variación; así, mientras que en el nitrógeno y calcio, disminuyó el contenido al aumentar la dosis, en el manganeso y hierro se obtuvo una tendencia opuesta. Asimismo, la interacción SHs por dosis resultó significativa en el contenido de potasio, calcio, magnesio y micronutrientes.

En la Tabla 27a se muestra la comparación entre los tratamientos por el test de Tukey en la espinaca. Se observa que, con el extracto húmico total del VC extraído con agua (VC EHT H) a 25 mg C/kg de suelo, las plantas de espinaca dieron los mayores contenidos de fósforo, potasio y calcio. Con este producto a 12,5 mg C/kg también se registró el mayor contenido de cinc. El nivel máximo de cinc resultó un tanto elevado y debe tenerse en cuenta para evitar posibles efectos tóxicos; no obstante, en otros estudios los efectos tóxicos de cinc solo se observaron a contenidos de 340 mg/kg en plantas de espinaca (Gupta y Gupta, 1998).

Las plantas tratadas con el extracto húmico total del compost (C EHT KOH) o con ácidos húmicos del VC (VC H KOH) a 25 mg C/kg de suelo registraron respectivamente el máximo contenido de cobre y manganeso. Las plantas de espinaca con el COM C a la dosis de 12,5 mg C dieron el mayor contenido foliar de hierro.

En el resto de nutrientes los productos aplicados dieron plantas con contenidos inferiores o similares a los observados en el control. Esta situación confirma los resultados obtenidos en la lechuga y constituye una evidencia del efecto poco consistente de la aplicación al suelo de las SHs a las dosis valoradas en el presente estudio, tanto en los parámetros de producción como en el contenido de nutrientes en las plantas.

Tabla 27a. Contenido de nutrientes en espinaca fertilizada con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	3,99 efg	0,83 ab	3,20 ij	2,34 fghi	1,11 i	10,08 efghi	48,1 bcd	102,7 abcd	164 abcd
VCEHT H12,5	4,05 fg	0,91 defg	3,12 hij	2,51 i	1,13 i	9,43 cdefg	31,0 a	98,0 abc	201 e
VCEHT H25	4,06 fg	1,00 h	3,30 j	2,50 i	1,11 i	9,20 cdefg	48,1 bcd	112,4 defgh	182 cde
CEHT H12,5	4,04 fg	0,92 efg	3,11 hij	2,20 efgh	1,05 hi	8,78 bcde	42,1 ab	111,9 defgh	173 bcde
CEHT H25	3,76 abc	0,85 abcde	1,86 a	2,20 efgh	0,87 b	11,23 ij	48,5 bcd	119,3 fgh	173 bcde
VCEHT KOH12,5	3,91 bcdefg	0,92 fg	2,15 b	2,60 i	0,78 a	11,10 hij	49,9 bcd	109,1 cdef	189 de
VCEHT KOH25	3,70 ab	0,82 a	2,18 b	2,40 ghi	0,75 a	9,34 cdefg	59,2 cd	116,1 efgh	146 ab
CEHT KOH12,5	4,07 g	0,93 g	1,80 a	2,43 hi	0,98 defgh	10,68 ghij	47,2 bcd	114,2 defgh	153 abc
CEHT KOH25	4,05 fg	0,93 g	2,93 fghi	1,93 abcde	0,98 defgh	12,99 k	51,3 bcd	114,7 defgh	180 cde
VCH KOH12,5	3,76 abc	0,93 g	2,95 ghi	2,16 defg	0,94 bcdefg	12,02 jk	49,5 bcd	90,2 a	166 abcd
VCH KOH25	3,64 a	0,85 abcd	2,78 defg	1,97 abcde	0,99 efgh	10,54 fghij	77,7 e	110,8 cdefg	160 abcd
CH KOH12,5	4,00 efg	0,83 ab	2,90 fgh	1,84 abc	0,93 bcdefg	10,03 efghi	60,6 cd	111,0 cdefg	170 abcd
CH KOH25	3,77 abcd	0,86 abcdef	2,48 c	1,80 ab	0,91 bcde	8,92 bcde	52,7 bcd	92,9 ab	182 cde
VCEF KOH12,5	3,85 bcdef	0,85 abc	2,54 cd	1,72 a	0,88 bc	9,62 defgh	50,0 bcd	110,1 cdefg	180 cde
VCEF KOH25	3,83 abcde	0,94 gh	2,81 defg	2,10 cdef	0,93 bcdefg	9,02 bcdef	58,7 cd	113,3 defgh	184 de
CEF KOH12,5	3,79 abcde	0,88 bcdefg	2,65 cdef	2,06 bcde	0,91 bcd	8,37 abcd	61,0 d	105,4 bcde	179 cde
CEF KOH25	3,93 cdefg	0,82 a	2,89 efgh	2,04 bcde	1,00 gh	9,34 cdefg	59,7 cd	113,7 defgh	166 abcd
COM A12,5	3,86 bcdef	0,87 abcdef	2,61 cde	2,03 bcde	0,94 bcdefg	9,43 cdefg	47,6 bcd	118,8 fgh	147 ab
COM A25	3,93 cdefg	0,84 abc	2,55 cd	2,09 cdef	0,98 defg	9,11 cdefg	45,8 abc	114,7 defgh	147 ab
COM B12,5	3,87 bcdefg	0,89 cdefg	2,70 cdefg	2,04 bcde	0,99 fgh	7,17 a	56,9 bcd	120,7 fgh	147 ab
COM B25	3,97 defg	0,89 cdefg	2,57 cd	1,94 abcde	0,96 cdefg	7,49 ab	51,3 bcd	122,5 gh	167 abcd
COM C12,5	3,93 cdefg	0,82 a	2,52 cd	1,92 abcd	0,99 fgh	8,51 abcde	53,7 bcd	124,4 h	142 a
COM C25	3,90 bcdefg	0,83 ab	2,42 bc	1,99 bcde	0,93 bcdef	7,91 abc	53,0 bcd	121,2 fgh	169 abcd

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001%. Sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenidos con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenidos con KOH de un vermicompost y un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

Tabla 27b. Contenido promedio de nutrientes por factor en espinaca tratada mediante la aplicación al suelo de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Factores		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,99	0,83	3,20	2,34	1,11	10,08	48,1	103	164
SHs		3,89	0,88	2,63	2,11	0,95	9,56	52,5	112	168
COMs		3,91	0,86	2,56	2,00	0,96	8,27	51,4	120	153
SHs VC		3,85	0,90	2,73	2,24	0,94	10,03	53,0	107	176
SHs Compost		3,93	0,88	2,58	2,06	0,95	10,04	52,9	110	172
Dosis										
	12,5 mg C/kg	3,92	0,89	2,64	2,14	0,96	9,56	49,9	110	168
	25 mg C/kg	3,87	0,88	2,62	2,09	0,94	9,56	55,1	114	169
Partición	gl	Cuadrados medios								
SHs vs Control	1	0,06 *	0,03 ***	2,80 ***	0,43 ***	0,22 ***	2,36 NS	168,47 NS	761,5 ***	155,0 NS
COMs vs Control	1	0,03 NS	0,01 *	3,13 ***	0,85 ***	0,17 ***	25,28 ***	83,08 NS	2427,9 ***	921,0 NS
SHs VC vs SHs Compost	1	0,14 ***	0,02 ***	0,82 ***	1,16 ***	0,01 *	0,00 NS	0,55 NS	300,9 *	563,9 NS
Dosis	1	0,10 **	0,00 NS	0,03 NS	0,12 *	0,01 NS	0,00 NS	1311,97 ***	580,3 **	28,0 NS
SHs x Dosis	10	0,00 NS	0,00 NS	0,02 *	0,02 **	0,00 *	4,03 ***	173,07 ***	58,9 **	301,1 **

Diferencias significativas por factor NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; SHs: sustancias húmicas, SHs VC sustancias húmicas del vermicompost, SHs Composts: sustancias húmicas del composts, COMs: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/kg de suelo

Sin embargo, es conveniente destacar el efecto beneficioso de los ácidos fúlvicos con extracción alcalina del VC en el contenido de nutrientes de las hojas de espinaca. Las plantas con la dosis de 25 mg C/kg de este producto, en comparación con el control, no dieron los mayores niveles de nutrientes, pero sí presentaron incrementos significativos en el contenido de fósforo, manganeso, hierro y cinc. Resultados similares se presentaron en las plantas tratadas con el extracto húmico total del compost con extracción alcalina (CEHT KOH) a la dosis de 25 mg C/kg de suelo en el contenido de cobre, manganeso y cinc. Y con el extracto húmico total del VC en el contenido de fósforo, potasio y hierro.

En el presente estudio, los principales efectos beneficiosos que se apreciaron consistieron en un incremento en el contenido de fósforo y hierro en las plantas, pero también podemos indicar que los valores alcanzados pueden ser limitados debido a la propia inestabilidad de las SHs, asociada a su inmediata interacción con microorganismos o a su interacción con las partículas de arcilla del suelo.

Chen y Aviad (1990) y Cooper *et al.* (1998) indican que la respuesta a la aplicación de SHs en el crecimiento del cultivo y en el contenido de nutrientes depende de la especie, de la dosis y del material evaluado, y que los humatos comerciales no incrementaron la absorción de nitrógeno.

Con relación al contenido de macronutrientes en las hojas de espinaca, podemos indicar que se alcanzaron valores normales de nitrógeno y magnesio, pero los contenidos de fósforo y calcio resultaron altos, mientras que los valores obtenidos de potasio fueron bajos (Gülser, 2005). En el contenido de micronutrientes, los niveles de cobre, manganeso y hierro se pueden considerar como normales, pero los de cinc resultaron altos en base a los intervalos críticos indicados por Gülser (2005). En este último caso fluctuaron de 142 a 201 mg de cinc/kg de materia seca.

3.3.1.3 Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos

Lechuga

En las Figuras 23 y 24 se muestran los resultados de la absorción de nutrientes por las plantas de lechuga tratadas con SHs. Se observa que los tratamientos dieron efectos poco consistentes. Así, las plantas tratadas con ácidos fúlvicos del VC (VC EF KOH), con el extracto húmico total del compost (C EHT KOH) o con el producto comercial COM B a 12,5 mg C/kg de suelo, respectivamente, dieron las máximas absorciones de fósforo, hierro y cobre, mientras que con los ácidos húmicos del compost (C EH KOH) se consiguieron las mayores absorciones de cinc y manganeso. Con el resto de los productos se obtuvieron niveles de absorción similares a los del control. Y los COMs en promedio alcanzaron unos valores superiores al control en la absorción de fósforo, hierro y manganeso en la lechuga.

Espinaca

Los resultados de absorción de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas con SHs se presentan en las Figuras 25 y 26. Las plantas que recibieron ácidos fúlvicos de compost con extracción alcalina (C EF KOH) alcanzaron las mayores absorciones de potasio, magnesio y hierro, en tanto que las plantas tratadas con ácidos húmicos del VC (VC EH KOH) a la dosis de 25 mg C/kg de suelo dieron las mayores absorciones de cobre y manganeso, con valores superiores a los obtenidos en el control.

A diferencia de lo indicado en lechuga, las plantas de espinaca tratadas con COMs mostraron valores de absorción de potasio, calcio, magnesio y cobre del orden de 21,6, 16,1, 15,1 y 17,8% menores que los del control. De donde se infiere un efecto depresivo de este tipo de sustancias sobre la absorción de nutrientes, aplicadas directamente al suelo, en las especies y a las dosis evaluadas en el presente estudio.

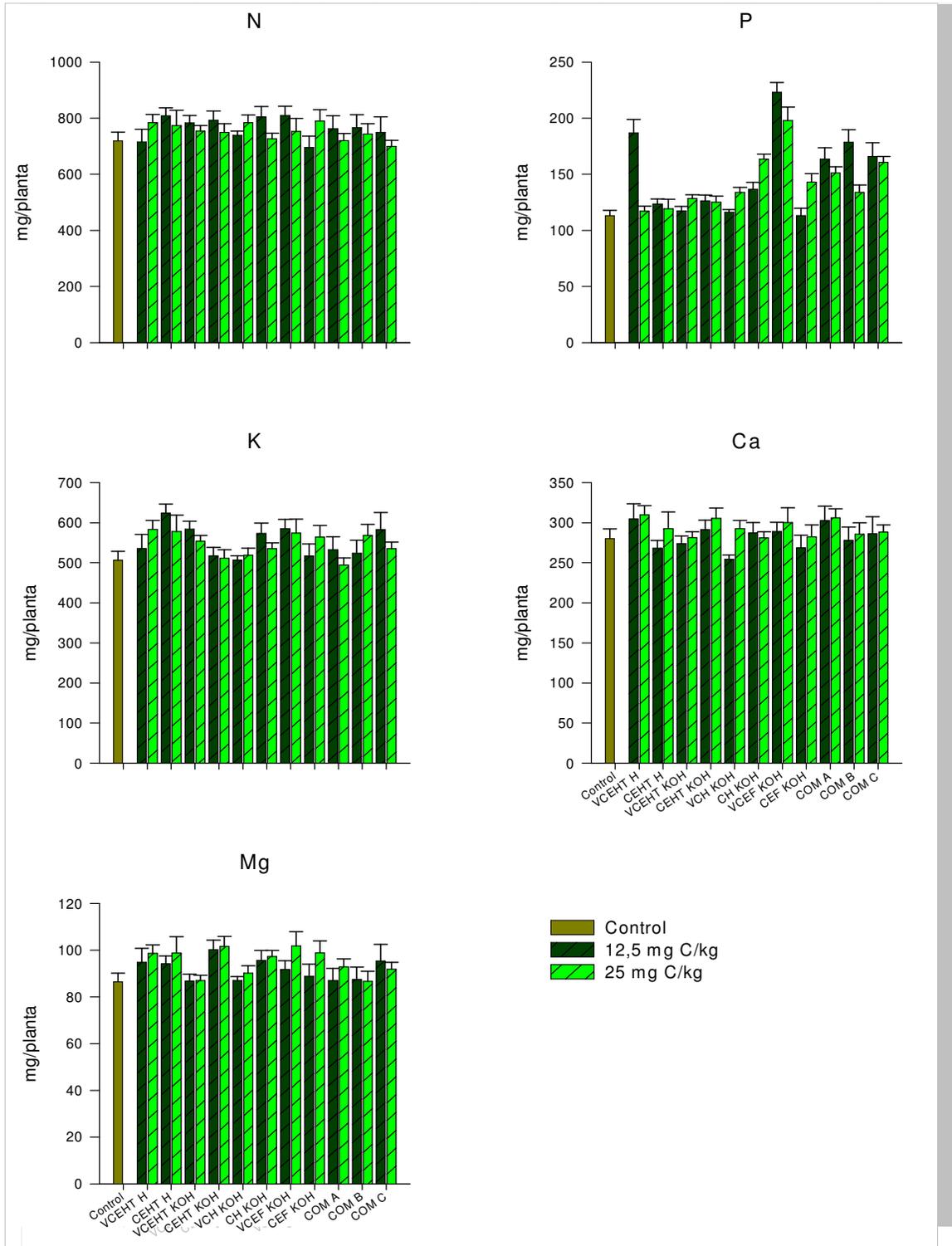


Figura 23. Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

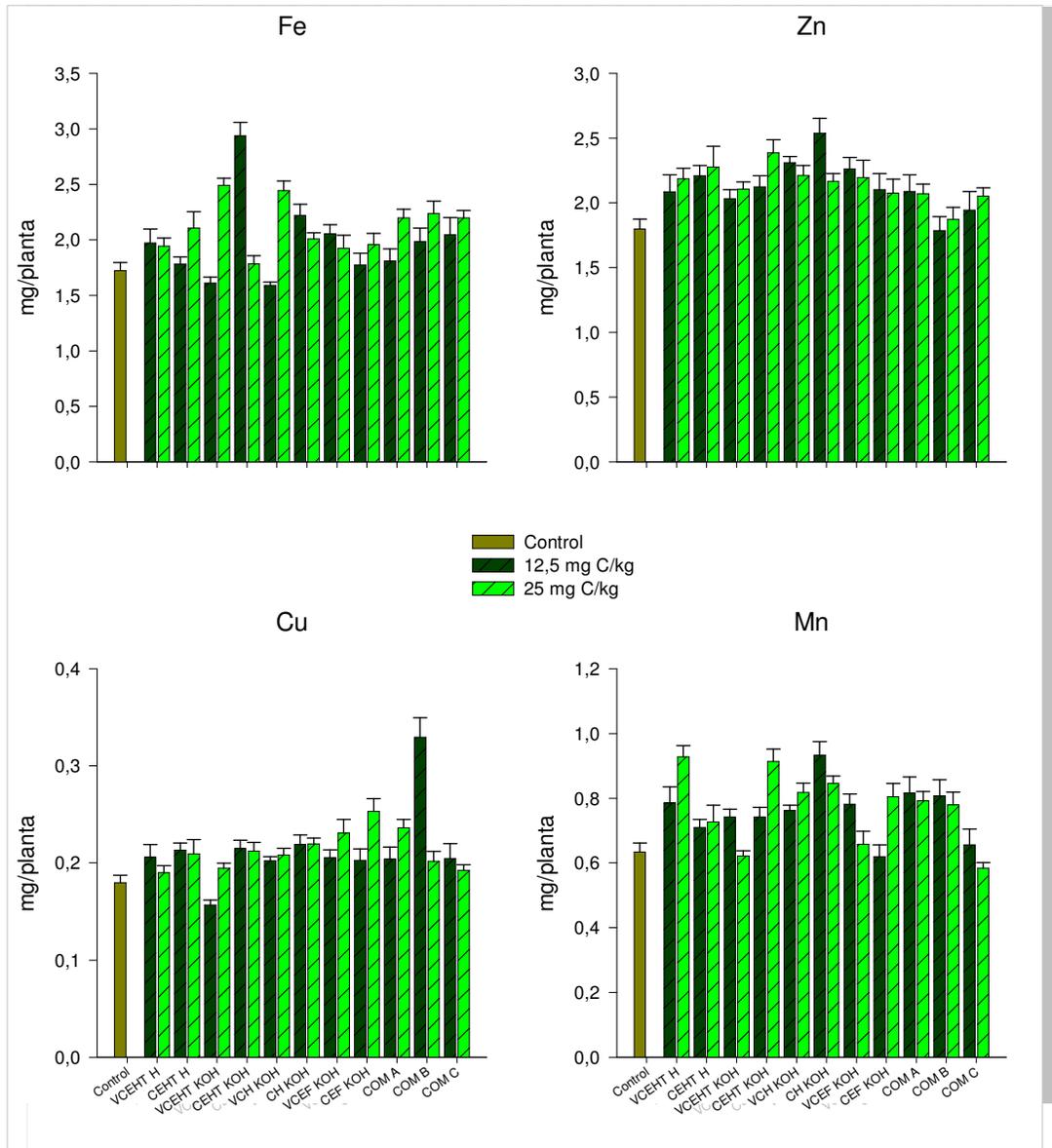


Figura 24. Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

Como se puede observar en las Figuras 25 y 26, citadas anteriormente, los resultados más consistentes en la absorción de nutrientes en espinaca se obtuvieron con los ácidos fúlvicos del compost (C EF KOH) y con los ácidos húmicos del VC (VC EH KOH) obtenidos con extracción alcalina y aplicados a 25 mg C/kg de suelo.

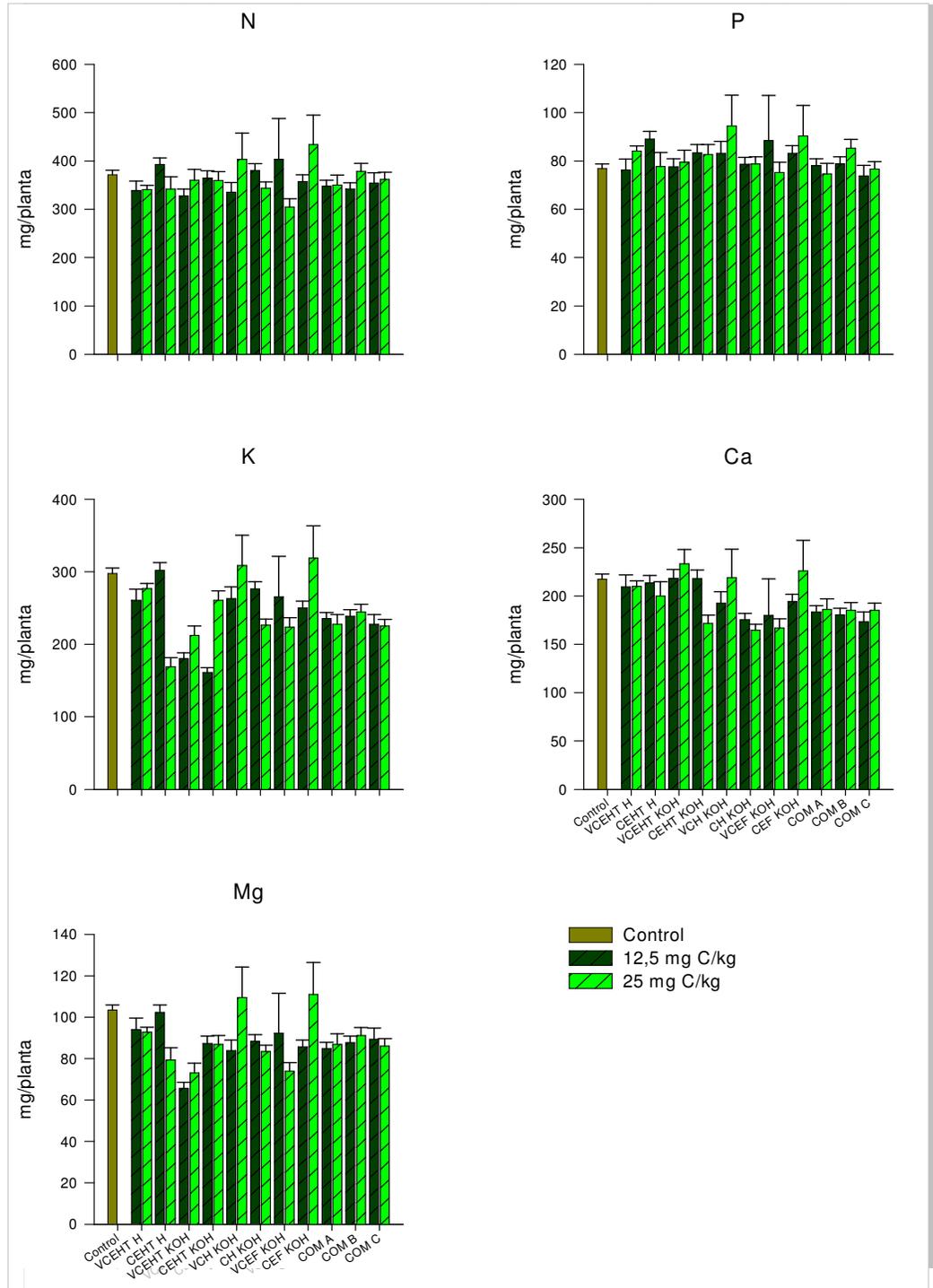


Figura 25. Absorción de macronutrientes en las plantas de espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

En diferentes experiencias relacionadas con la aplicación de SHs al suelo se obtuvieron mayores niveles de absorción de algunos nutrientes como

el fósforo, potasio y micronutrientes en cultivos de lechuga, espinaca y pepino (Ayas y Gülser, 2005; Pandeya *et al.*, 1998; Tufenkci *et al.*, 2006), y en otras investigaciones (Delgado *et al.*, 2002) tales resultados se han relacionado con posibles efectos positivos de las SHs sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que pueden originar un aumento de la capacidad de intercambio catiónico o una mayor disponibilidad de algunos nutrientes como el fósforo en el suelo.

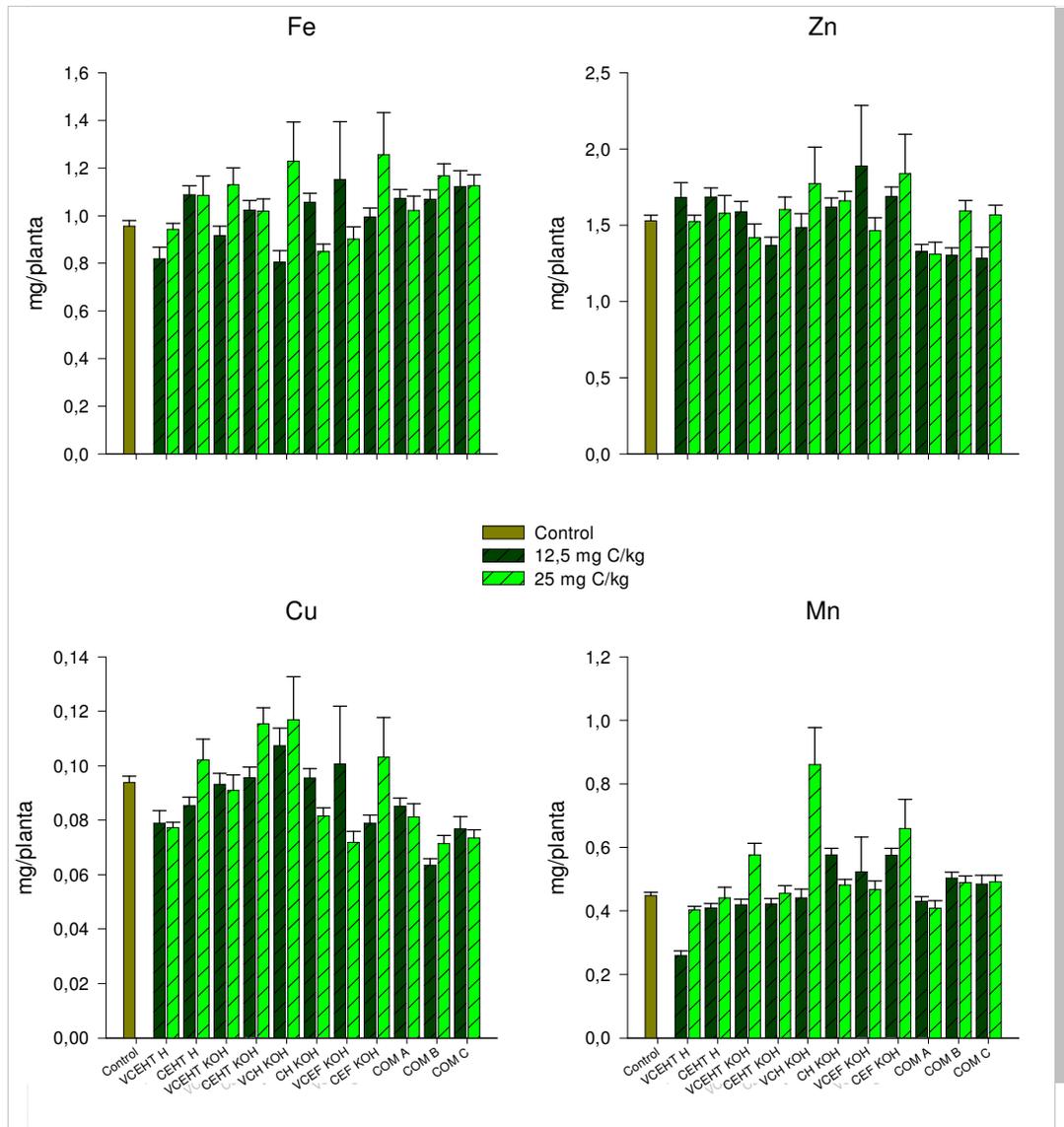


Figura 26. Absorción de micronutrientes en las plantas de espinaca fertilizadas con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 4)

3.3.2 Valoración de la aplicación foliar de las sustancias húmicas extraídas del compost y vermicompost de alperujos (experimento 5)

3.3.2.1 Efectos en los parámetros de crecimiento y producción

Lechuga

Los resultados de crecimiento y producción de plantas de lechuga tratadas con aspersiones foliares a base de SHs se presentan en la Tabla 28. El análisis por factores indica que el efecto dosis resultó significativo en la altura de tálamo, y la interacción SHs por dosis también dio significación estadística en la biomasa fresca de tálamo.

La comparación entre tratamientos, por el test de Tukey, se indica en la Tabla 28. Puede observarse que las plantas que recibieron SHs y productos comerciales (COM A, B y C) dieron, en los respectivos parámetros, valores similares a los obtenidos en el control.

Asimismo, indicar que las producciones de biomasa (fresca y seca) relativa al control, según se muestra en la Figura 27, presentó valores próximos a 100 en la biomasa fresca y algo más altos en el parámetro de biomasa seca. Y respecto al efecto de las diferentes sustancias húmicas aplicadas vía foliar sobre el porcentaje de materia seca en el cultivo de lechuga (planta y tálamo), según se muestra en la Figura 28, no resultó significativo en ningún caso.

Tabla 28. Parámetros de producción y crecimiento en lechuga tratada mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Tratamientos	Biomasa total		Biomasa de talamo		Altura		Diámetro talamo (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)	Fresca (g)	Seca (g)	Total (cm)	Talamo (cm)		
Control	522 ab	20,3 a	33,8 ab	1,70 a	29,7 a	11,6 ab	2,75 a	
VCEHT H12,5	524 ab	21,7 a	31,6 ab	2,02 a	30,0 a	11,6 ab	2,82 a	
VCEHT H25	529 ab	18,4 a	30,4 ab	2,07 a	29,8 a	10,7 ab	2,72 a	
CEHT H12,5	532 b	23,4 a	34,7 ab	2,43 a	30,0 a	10,5 ab	2,97 a	
CEHT H25	527 ab	21,3 a	33,1 ab	1,68 a	30,2 a	10,8 ab	3,00 a	
VCEHT KOH12,5	518 ab	20,9 a	31,9 ab	1,98 a	29,7 a	11,0 ab	2,85 a	
VCEHT KOH25	514 ab	20,3 a	29,1 ab	1,80 a	30,7 a	11,0 ab	2,78 a	
CEHT KOH12,5	525 ab	21,1 a	34,0 ab	1,98 a	30,5 a	12,5 b	2,75 a	
CEHT KOH25	524 ab	20,9 a	33,6 ab	2,40 a	30,0 a	11,8 ab	2,80 a	
VCH KOH12,5	537 b	23,9 a	35,2 ab	2,37 a	30,2 a	10,6 ab	2,77 a	
VCH KOH25	531 ab	23,3 a	35,7 b	2,40 a	30,0 a	10,5 ab	2,88 a	
CH KOH12,5	523 ab	21,6 a	33,3 ab	2,23 a	30,0 a	10,6 ab	2,87 a	
CH KOH25	524 ab	22,8 a	31,3 ab	2,03 a	29,5 a	10,6 ab	2,80 a	
VCEF KOH12,5	531 ab	22,5 a	31,5 ab	2,15 a	30,5 a	10,8 ab	2,72 a	
VCEF KOH25	513 ab	20,5 a	32,6 ab	1,67 a	30,3 a	11,4 ab	2,83 a	
CEF KOH12,5	490 a	21,7 a	31,4 ab	1,92 a	29,8 a	11,2 ab	2,68 a	
CEF KOH25	523 ab	20,4 a	31,6 ab	2,03 a	29,3 a	10,8 ab	2,72 a	
COM A12,5	519 ab	20,6 a	25,1 a	1,48 a	30,7 a	10,8 ab	2,70 a	
COM A25	511 ab	23,0 a	35,0 ab	2,20 a	30,5 a	10,6 ab	2,70 a	
COM B12,5	539 b	20,2 a	35,4 b	2,05 a	29,8 a	11,9 ab	2,90 a	
COM B25	502 ab	18,5 a	25,6 ab	1,58 a	30,3 a	10,0 a	2,65 a	
COM C12,5	531 b	18,6 a	33,1 ab	1,77 a	29,8 a	11,9 ab	2,77 a	
COM C25	533 b	18,9 a	30,5 ab	1,95 a	29,7 a	11,3 ab	2,68 a	
Partición	gl	Cuadrados medios						
SHs vs Control	1	7,06 NS	3,99 NS	17,20 NS	0,55 NS	0,89 NS	1,72 NS	0,01 NS
COMs vs Control	1	5,94 NS	0,43 NS	47,49 NS	0,10 NS	1,15 NS	1,33 NS	0,00 NS
SHs VC vs SH Compost	1	308,74 NS	0,96 NS	9,95 NS	0,03 NS	1,26 NS	0,51 NS	0,02 NS
Dosis	1	390,47 NS	16,73 NS	21,04 NS	0,09 NS	0,12 NS	4,11 *	0,01 NS
SHs x Dosis	10	13,85 NS	0,00 NS	9,35 *	0,04 NS	0,03 NS	0,07 NS	0,00 NS

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenido con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenido con KOH de un vermicompost y un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

Espinaca

Al igual que lo observado con la lechuga, las plantas de espinaca tratadas con SHs del compost y VC de alperujos o productos COMs presentaron valores de los parámetros de producción similares a los observados en el control. Sólo el producto COM A aplicado a 25 mg C/L consiguió aumentos significativos en la biomasa seca y en el porcentaje de materia seca (PMS) de planta, respectivamente, en comparación al control (Tabla 29, Figuras 27 y 28).

Tabla 29. Parámetros de producción y crecimiento en espinaca tratada mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Tratamientos	Biomasa total		Altura de planta (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)		
Control	98 a	8,06 a	28,5 a	
VCEHT H12,5	101 a	8,70 ab	29,7 a	
VCEHT H25	96 a	8,84 ab	29,7 a	
CEHT H12,5	100 a	8,21 ab	30,0 a	
CEHT H25	108 a	8,71 ab	31,2 a	
VCEHT KOH12,5	94 a	8,74 ab	32,0 a	
VCEHT KOH25	103 a	8,81 ab	29,8 a	
CEHT KOH12,5	100 a	7,81 a	29,5 a	
CEHT KOH25	100 a	8,70 ab	37,2 a	
VCH KOH12,5	109 a	8,98 ab	30,2 a	
VCH KOH25	104 a	7,79 a	28,7 a	
CH KOH12,5	105 a	8,09 a	27,3 a	
CH KOH25	106 a	8,67 ab	29,8 a	
VCEF KOH12,5	103 a	8,76 ab	31,8 a	
VCEF KOH25	104 a	8,66 ab	30,2 a	
CEF KOH12,5	102 a	9,93 ab	34,2 a	
CEF KOH25	113 a	9,41 ab	34,7 a	
COM A12,5	103 a	8,63 ab	31,7 a	
COM A25	103 a	10,59 b	29,3 a	
COM B12,5	101 a	8,36 ab	29,3 a	
COM B25	99 a	7,95 a	35,0 a	
COM C12,5	101 a	8,27 ab	29,2 a	
COM C25	99 a	7,89 a	36,7 a	
Partición	gl	Cuadrados medios		
SHs vs Control	1	99,06 NS	2,07 NS	42,69 NS
COMs vs Control	1	40,16 NS	1,58 NS	58,10 NS
SHs VC vs SHs Compost	1	141,14 NS	0,02 NS	52,51 NS
Dosis	1	76,36 NS	0,63 NS	81,94 NS
SHs x Dosis	10	9,85 NS	0,01 NS	8,51 NS

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenido con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenido con KOH de un vermicompost y un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

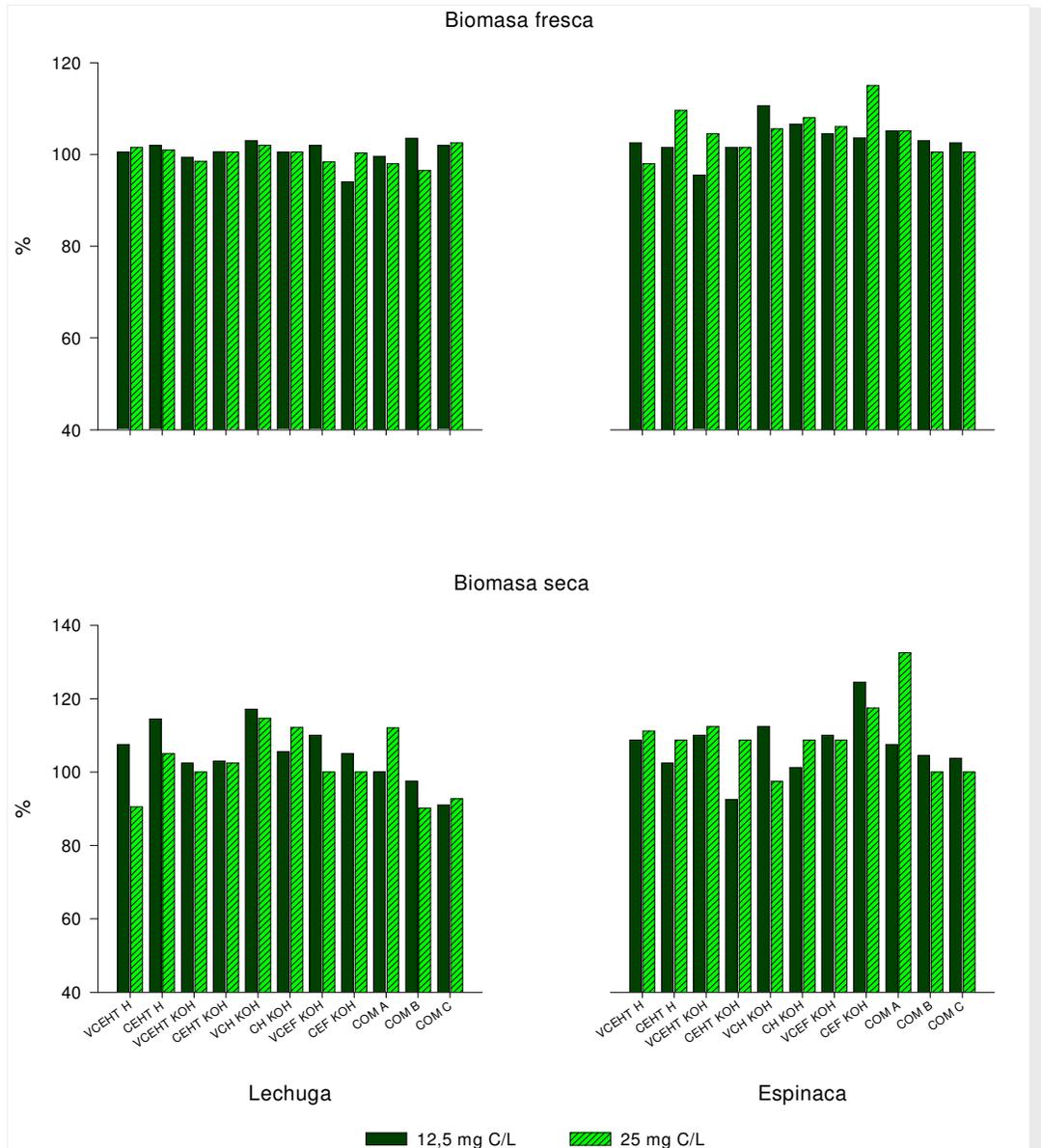


Figura 27. Biomasa fresca y seca relativa (control = 100%) de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

En base a los resultados obtenidos, se puede indicar que las aspersiones foliares con SHs extraídas del compost y VC de alperujos tuvieron una influencia baja en el crecimiento y producción en los cultivos de lechuga y espinaca. En otras investigaciones (Pomares *et al.*, 2007; Pomares, 2008), se constataron escasos efectos de la aplicación foliar a dosis de 0,20% de sustancias húmicas comerciales en parámetros productivos y cualitativos en coliflor, sandía y alcachofa. En cambio, en la lechuga la respuesta a las

aspersiones foliares con sustancias húmicas al 1% dependió del cultivar utilizado (Guvenc *et al.*, 1999).

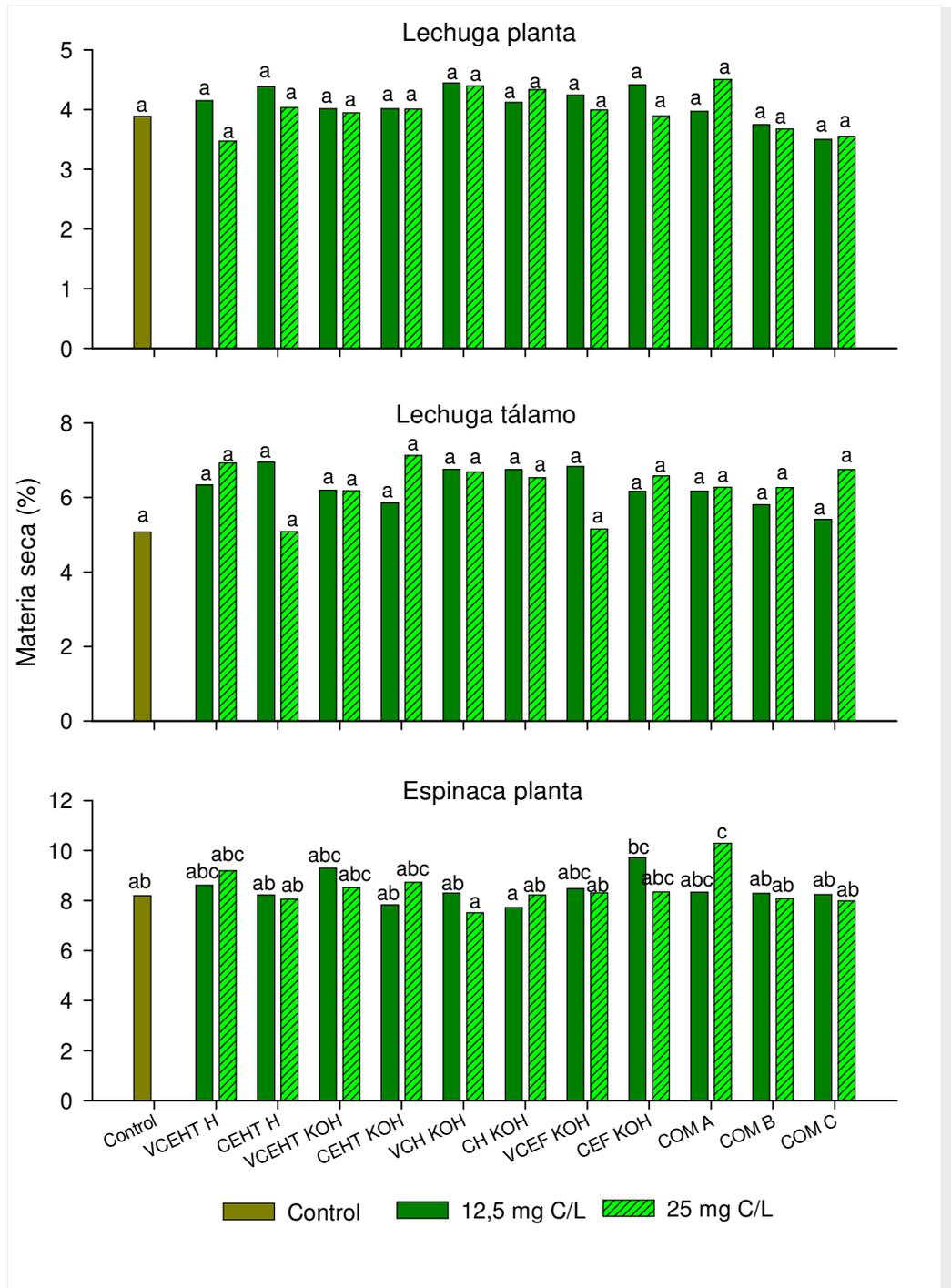


Figura 28. Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

3.4.2. Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos

Lechuga

Los contenidos de nutrientes en las hojas de lechuga tratadas con aspersiones foliares a base de SHs se indican en las Tablas 30a y 30b. Las plantas que recibieron SHs y COMs, en relación al control, registraron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en el nitrógeno, y estas sustancias consiguieron contenidos promedio superiores a los del control, excepto en el calcio y magnesio. Las plantas de lechuga tratadas con SHs del VC, en comparación con las que recibieron SHs del compost, también presentaron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en el contenido foliar de potasio y cinc; aunque el patrón de variación resultó variable, en el nitrógeno, calcio, magnesio y cobre fueron superiores, pero en el fósforo, manganeso y hierro fueron inferiores. El efecto dosis resultó significativo en los niveles foliares de nitrógeno, fósforo, calcio, cobre y hierro. La dosis alta alcanzó valores promedio de estos nutrientes superiores a los obtenidos con la dosis baja. Asimismo, la interacción SHs por dosis resultó significativa en el contenido de fósforo, potasio, manganeso y hierro.

De la comparación entre tratamientos por el test de Tukey en la lechuga (Tabla 30a), se desprende que las plantas tratadas con SHs sólo resultaron superiores al control en el contenido de potasio y cinc; en el resto de nutrientes no presentaron resultados consistentes, y el efecto dosis no reflejó ningún patrón de variación definido. Se observa también que las plantas que recibieron el VC EHT KOH alcanzaron contenidos de nitrógeno, calcio y magnesio superiores a los del control y restantes tratamientos. El CEHT H o el CH KOH dieron valores de cobre y manganeso, respectivamente, superiores al resto de tratamientos. Asimismo, con el VCEF KOH25 las plantas de lechuga presentaron unos contenidos de hierro y cinc superiores al resto de tratamientos. Con este último producto también se presentó una tendencia de progresivo aumento de los valores de los nutrientes proporcional a la dosis. Una tendencia similar se observó con el VC EHT H, y con CEF KOH.

Tabla 30a. Contenido de nutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	3,95 bcdefgh	0,60 bc	2,43 a	1,66 h	0,57 ghi	8,16 ab	28,3 ab	78,8 bc	74,9 a
VCEHT H12,5	3,99 defgh	0,54 ab	2,79 defghi	1,49 defg	0,56 ghi	11,26 cde	30,8 abc	86,1 bcd	97,1 bc
VCEHT H25	4,14 h	0,58 abc	2,43 a	2,06 i	0,64 j	9,49 abc	25,5 a	73,2 ab	99,9 bcd
CEHT H12,5	3,76 abc	0,54 ab	2,60 abc	1,53 efgh	0,58 hi	9,43 abc	26,9 ab	60,3 a	77,7 a
CEHT H25	3,97 cdefgh	0,48 a	2,75 cdefg	1,36 bcd	0,49 bcdef	16,25 h	24,1 a	95,4 def	116,2 def
VCEHT KOH12,5	4,10 gh	0,76 def	2,90 ghi	1,38 bcde	0,47 abcde	13,65 fg	35,6 bcd	77,7 bc	121,5 ef
VCEHT KOH25	3,94 bcdefgh	0,69 cde	2,93 hi	1,45 cdfg	0,48 bcde	13,09 efg	58,3 g	84,8 bcd	113,2 bcdef
CEHT KOH12,5	3,93 bcdefgh	0,74 def	2,75 cdefg	1,38 bcde	0,49 bcdef	13,20 efg	53,3 fg	99,3 defg	111,5 bcdef
CEHT KOH25	3,78 abcd	0,67 cd	2,80 efghi	1,33 bc	0,48 bcde	9,27 abc	46,6 ef	93,1 cdef	112,4 bcdef
VCH KOH12,5	3,76 abc	0,68 cd	2,66 bcdef	1,24 ab	0,48 abcde	7,49 a	38,8 cde	78,0 bc	101,3 bcd
VCH KOH25	3,74 ab	0,81 fg	2,63 bcde	1,24 ab	0,46 abc	12,26 efg	56,6 g	77,7 bc	102,7 bcd
CH KOH12,5	3,83 abcdef	0,88 gh	2,62 bcd	1,27 ab	0,47 abcd	13,54 fg	54,4 fg	92,1 cdef	112,6 bcdef
CH KOH25	3,70 a	0,97 hi	2,78 defgh	1,24 ab	0,47 abc	13,60 fg	60,5 g	84,8 bcd	107,7 bcdef
VCEF KOH12,5	3,89 abcdefg	0,89 gh	2,63 bcde	1,45 cdfg	0,45 ab	11,60 def	35,4 bcd	92,1 cdef	98,8 bcd
VCEF KOH25	4,04 fgh	0,80 efg	2,73 cdefg	1,38 bcde	0,48 bcde	12,93 efg	40,8 de	117,6 h	123,5 f
CEF KOH12,5	3,89 abcdef	0,91 ghi	2,50 ab	1,17 a	0,43 a	11,66 def	40,0 de	112,7 gh	111,0 bcdef
CEF KOH25	3,97 cdefgh	1,01 i	2,66 bcdef	1,45 cdfg	0,52 efg	12,54 efg	39,7 cde	107,1 fgh	106,8 bcdef
COM A12,5	3,90 abcdefg	0,74 def	2,83 fghi	1,44 cdef	0,49 bcdef	11,98 def	58,2 g	83,2 bcd	104,0 bcde
COM A25	3,99 efgh	0,80 efg	2,84 ghi	1,30 abc	0,48 bcde	12,43 efg	35,6 bcd	102,7 efgh	108,2 bcdef
COM B12,5	3,81 abcde	0,88 gh	2,90 ghi	1,53 efgh	0,53 fgh	11,76 def	41,9 de	97,7 defg	112,4 bcdef
COM B25	4,03 fgh	0,88 gh	2,93 hi	1,59 fgh	0,51 cdef	9,98 bcd	29,2 ab	88,5 bcde	96,0 b
COM C12,5	3,87 abcdef	1,03 i	2,95 hi	1,68 h	0,60 ij	14,14 g	27,3 ab	106,5 fgh	114,5 cdef
COM C25	3,92 bcdefg	1,23 j	2,97 i	1,60 gh	0,52 defg	11,93 def	26,6 ab	104,9 efgh	104,9 bcde

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenidos con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenidos con KOH de vermicompost y un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

Tabla 30b. Contenido promedio de nutrientes por factor en lechuga tratada mediante la aplicación foliar de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,95	0,60	2,43	1,66	0,57	8,16	28,3	78,8	74,9
SHs		3,91	0,80	2,75	1,43	0,50	11,98	40,3	91,6	107,0
COMs		3,92	0,93	2,90	1,52	0,52	12,04	36,5	97,2	106,7
SHs VC		3,95	0,72	2,71	1,46	0,50	11,47	40,2	85,9	107,2
SHs Composts		3,85	0,77	2,68	1,34	0,49	12,44	43,2	93,1	107,0
Dosis										
	12,5 mg C/L	3,88	0,78	2,74	1,41	0,51	11,79	40,2	89,6	105,7
	25 mg C/L	3,93	0,81	2,77	1,45	0,50	12,16	40,3	93,6	108,3
Partición	gl	Cuadrados medios								
SHs vs Control	1	0,02 NS	0,32 ***	0,90 ***	0,45 ***	0,04 ***	125,74 ***	1235,13 ***	1416,7 ***	8864,48 ***
COMs vs Control	1	0,01 NS	0,81 ***	1,72 ***	0,15 ***	0,02 ***	116,34 ***	517,65 ***	2624,5 ***	7781,51 ***
SHs VC vs SHs Compost	1	0,35 ***	0,11 ***	0,04 NS	0,52 ***	0,01 **	33,45 ***	320,37 **	1865,7 ***	2,13 NS
Dosis	1	0,09 *	0,05 **	0,04 NS	0,08 **	0,00 NS	6,71 *	0,34 NS	796,1 **	340,84 NS
SHs x Dosis	10	0,00 NS	0,00 *	0,03 ***	0,00 NS	0,00 NS	0,00 NS	45,98 ***	37,9 *	0,06 NS

Diferencias significativas por factor NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; SHs: sustancias húmicas, SHs VC sustancias húmicas del vermicompost, SHs Composts: sustancias húmicas del composts, COMs: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

Las plantas de lechuga tratadas con el COM C a 25 mg C/L dieron el máximo contenido de fósforo y potasio. Las plantas que recibieron ácidos fúlvicos del VC, ácidos fúlvicos o húmicos del compost presentaron valores de fósforo similares a los obtenidos con el COM C. Resultados similares, pero en el contenido de potasio, se observaron con el VCEHT KOH.

En otras investigaciones se obtuvieron evidencias experimentales de que las SHs extraídas con agua aumentaron el contenido de hierro en plantas de pepino, un efecto que se atribuyó a la formación de complejos de hierro con las sustancias fúlvicas caracterizadas por su bajo peso molecular, y por su mayor facilidad de absorción por las plantas (Pandeya *et al.*, 1998).

Por último, podemos indicar que los niveles de nutrientes resultaron dentro de los intervalos de suficiencia establecidos para el cultivo de lechuga, a excepción del contenido de potasio, que resultó por debajo del nivel mínimo de suficiencia (Maynard y Hochmuth, 1997).

Espinaca

Los contenidos de nutrientes en las hojas de espinaca tratadas con SHs se presentan en las Tablas 31a y 31b. Las plantas que recibieron SHs en relación al control reflejaron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en el calcio, y resultaron con valores promedio superiores al control en todos los nutrientes, excepto en el contenido de potasio. Las plantas tratadas con COMs, en comparación con el control, también dieron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en el fósforo, calcio y hierro, pero únicamente resultaron superiores al control en el nitrógeno, potasio, magnesio, cobre y manganeso. Las plantas que recibieron SHs del VC, en comparación a las tratadas con SHs del compost, manifestaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno, fósforo, cobre y manganeso, y en los tres primeros resultaron superiores a los valores obtenidos con las SHs del compost. El efecto dosis registró diferencias en el contenido de nitrógeno, potasio, calcio, manganeso y cinc, originando la dosis alta niveles superiores a los de la dosis baja, excepto en el calcio. La interacción SHs por dosis resultó significativa en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, cobre, hierro y cinc.

Tabla 31a. Contenido de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	3,25 a	0,58 de	2,59 i	2,18 bcde	0,81 a	9,34 a	42,5 a	91,5 abcde	137 ab
VCEHT H12,5	3,76 lmn	0,61 e	2,20 ab	2,19 bcde	0,89 bcdef	9,85 abcd	49,9 abcd	134,6 gh	172 cdef
VCEHT H25	3,66 hijk	0,71 hij	2,52 ghi	1,73 a	0,88 abcd	9,66 abc	56,9 cde	105,9 cdef	212 gh
CEHT H12,5	3,53 defg	0,71 hi	2,40 defg	2,14 bcde	0,89 bcdefg	10,22 abcdef	59,2 def	109,7 def	222 h
CEHT H25	3,57 fghi	0,69 hi	2,45 fgh	2,15 bcde	0,92 bcdefg	10,45 bcdef	59,7 def	113,3 efg	170 cdef
VCEHT KOH12,5	3,67 jkl	0,68 ghi	2,40 defgt	2,33 e	0,96 gh	11,79 h	52,7 abcd	135,5 gh	194 fgh
VCEHT KOH25	3,52 defg	0,70 hi	2,44 fgh	2,25 cde	0,94 defgh	11,24 fgh	56,9 cde	112,4 efg	171 cdef
CEHT KOH12,5	3,66 ijkl	0,68 gh	2,51 ghi	2,21 bcde	0,92 bcdefg	10,41 bcdef	48,6 abcd	123,9 fg	176 defg
CEHT KOH25	3,57 efgh	0,59 de	2,28 bcd	2,07 bc	0,92 bcdefg	9,99 abcde	56,2 bcde	155,4 h	167 bcdef
VCH KOH12,5	3,47 cd	0,75 j	2,27 bc	2,18 bcde	0,95 efgh	10,82 defgh	44,4 ab	101,8 cdef	140 abc
VCH KOH25	3,82 n	0,72 ij	2,37 cdef	2,32 de	0,95 fgh	10,41 bcdef	44,4 ab	69,1 a	138 ab
CH KOH12,5	3,70 jklm	0,65 fg	2,24 ab	2,23 bcde	0,93 cdefgh	10,50 cdef	52,3 abcd	69,4 a	146 abcd
CH KOH25	3,76 klmn	0,50 b	2,58 i	2,05 bc	0,95 fgh	10,26 abcdef	45,8 abc	96,6 bcde	173 defg
VCEF KOH12,5	3,54 defg	0,54 bc	2,48 fghi	2,01 b	0,87 abc	10,50 cdef	43,0 a	100,8 cdef	147 abcd
VCEF KOH25	3,66 hijk	0,54 bc	2,52 hi	2,09 bcd	0,88 bcde	10,50 cdef	54,1 abcd	102,2 cdef	187 efg
CEF KOH12,5	3,33 ab	0,44 a	2,42 fgh	2,02 b	0,86 ab	9,43 ab	55,6 bcd	99,0 cde	166 bcdef
CEF KOH25	3,77 mn	0,54 c	2,29 bcde	2,21 bcde	0,93 bcdefg	10,96 efgh	55,7 bcd	106,6 cdef	177 defg
COM A12,5	3,48 cdef	0,53 bc	2,37 cdef	2,11 bcde	0,90 bcdefg	10,63 cdefg	59,2 def	84,8 abc	128 a
COM A25	3,61 ghij	0,61 e	2,37 cdef	2,20 bcde	0,95 efgh	11,00 efgh	68,4 efg	94,3 bcde	152 abcd
COM B12,5	3,40 bc	0,62 ef	2,13 a	2,35 e	0,93 cdefgh	10,96 efgh	71,2 fg	82,6 abc	160 abcde
COM B25	3,45 cd	0,57 cd	2,40 efgh	2,26 cde	0,89 bcdefg	10,68 cdefg	74,7 g	72,1 ab	148 abcd
COM C12,5	3,66 hijk	0,54 c	2,52 ghi	2,28 cde	1,00 h	11,60 gh	54,6 abcd	95,7 bcde	150 abcd
COM C25	3,47 cde	0,56 cd	2,58 i	2,18 bcde	0,95 efgh	10,41 bcdef	44,4 ab	87,4 abcd	173 defg

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. C: control; sustancias húmicas VC EHT H y C EHT H: extracto húmico total obtenido con agua, VC EHT KOH y C EHT KOH: extracto húmico total obtenido con KOH, VCH KOH y CH KOH: ácidos húmicos obtenidos con KOH, VCEF KOH y CEF KOH: ácidos fúlvicos obtenidos con KOH de vermicompost y un compost; COM A, B y C: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

Tabla 31b. Contenido promedio de nutrientes por factor en espinaca tratada mediante la aplicación foliar de sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Factores		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,25	0,58	2,59	2,18	0,81	9,34	42,5	91,5	137
SHs		3,59	0,61	2,40	2,16	0,92	10,56	54,9	102,4	167
COMs		3,51	0,57	2,40	2,23	0,94	10,88	62,1	86,1	152
SHs VC		3,64	0,65	2,40	2,14	0,91	10,60	50,3	107,8	170
SHs Composts		3,61	0,60	2,40	2,14	0,92	10,28	54,1	109,2	175
Dosis										
	12,5 mg C/L	3,56	0,61	2,36	2,19	0,92	10,61	53,7	103,4	164
	25 mg C/L	3,62	0,61	2,44	2,14	0,92	10,51	56,1	101,4	170
Partición	gl	Cuadrados medios								
SHs vs Control	1	0,67 ***	0,01 ***	0,33 ***	0,00 NS	0,11 ***	12,80 ***	1316,3 ***	1016,5 *	7696 ***
COMs vs Control	1	0,35 ***	0,00 NS	0,30 ***	0,02 NS	0,13 ***	18,35 ***	2945,9 ***	224,9 NS	1710 *
SHs VC vs SHs Compost	1	0,02 **	0,10 ***	0,00 NS	0,00 NS	0,00 NS	3,63 **	529,7 **	77,9 NS	773 NS
Dosis	1	0,12 ***	0,00 NS	0,31 ***	0,11 *	0,00 NS	0,54 NS	287,2 *	200,4 NS	1899 *
SHs x Dosis	10	0,00 ***	0,01 ***	0,00 *	0,00 NS	0,00 NS	0,33 **	10,6 NS	818,0 ***	761 ***

Diferencias significativas por factor NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: control; SHs: sustancias húmicas, SHs VC sustancias húmicas del vermicompost, SHs Composts: sustancias húmicas del composts, COMs: sustancias húmicas comerciales. Dosis: 12,5 y 25 mg C/L

La comparación entre tratamientos en la espinaca, por el test de Tukey, se indica en la Tabla 31a. Se constata que las plantas que recibieron SHs resultaron superiores al control en el contenido de nitrógeno, magnesio, cobre y manganeso. Las plantas tratadas con ácidos húmicos alcalinos del VC consiguieron los mayores valores de nitrógeno y fósforo en relación al control. Resultados similares se observaron en el cobre con el extracto húmico total alcalino del VC. Y unos niveles similares en nitrógeno y cobre a los alcanzados con estos tratamientos se presentaron en las plantas que recibieron los ácidos húmicos y fúlvicos alcalinos del compost o con el extracto húmico total extraído con agua del VC (en nitrógeno), y las que recibieron ácidos fúlvicos alcalinos del compost, ácidos húmicos alcalinos del VC o los COMs (en cobre).

Las plantas de espinaca tratadas con ácidos húmicos alcalinos del VC y compost o con el extracto húmico total alcalino del VC también presentaron valores de magnesio similares a las obtenidas con el COM C. Y las plantas con el COM B o con los extractos húmicos totales dieron los mayores contenidos de manganeso y cinc.

Y respecto al efecto de la dosis de aplicación, en el contenido foliar de los nutrientes, los mayores contenidos no siempre estuvieron relacionados con las dosis más altas.

Por último, en cuanto a los niveles de macronutrientes en la espinaca, podemos indicar que los contenidos de nitrógeno, fósforo y magnesio se encontraron en niveles normales, en tanto que el potasio resultó bajo y el calcio registró valores altos. Mientras que en el contenido de micronutrientes, los niveles de cobre, manganeso y hierro pueden ser considerados como normales, pero el contenido de cinc dio un nivel alto, de acuerdo con los intervalos críticos indicados por Gülser (2005). En este último, el intervalo fluctuó entre 128 hasta 222 mg/kg, dependiendo del tratamiento.

3.3.2.3 Efectos en la absorción de nutrientes por los cultivos

Lechuga

Los resultados de absorción de nutrientes por las plantas de lechuga tratadas con SHs del VC y compost de alperujos se presentan en las Figuras 29 y 30. Se observa que la aplicación foliar de SHs en relación al control influyó de manera positiva en la absorción de fósforo, potasio, hierro, cinc, cobre y manganeso, pero los efectos debidos a los productos y dosis valoradas dieron resultados inconsistentes y siguieron diferentes patrones de variación en la absorción de los nutrientes.

Las plantas que recibieron SHs alcalinas del VC y compost manifestaron absorciones de fósforo similares a las conseguidas con los COMs, y resultaron superiores a las que recibieron SHs extraídas con agua y al control. Las plantas de lechuga tratadas con SHs registraron similares absorciones de potasio, y presentaron valores superiores al control, excepto con el extracto húmico total del VC a 25 mg C/L.

De los productos valorados destaca el efecto de los ácidos fúlvicos alcalinos en los valores alcanzados en el caso del hierro y la influencia de los ácidos húmicos alcalinos en la absorción de manganeso. También resultó apreciable la respuesta de las plantas a las SHs con extracción alcalina, que dieron absorciones de cinc superiores al control y a las que recibieron SHs extraídas con agua.

Espinaca

Los niveles de absorción de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas con SHs se indican en las Figuras 31 y 32. En relación a los macronutrientes, se constata que las plantas que recibieron aspersiones foliares de SHs extraídas con agua y alcalinas del VC y compost de alperujos presentaron similares absorciones de nitrógeno y magnesio, y todas las sustancias aplicadas dieron valores superiores a los del control. Las plantas tratadas con SHs extraídas con agua del VC y compost, con el extracto húmico total y con los ácidos húmicos alcalinos del VC, así como con el COM A dieron mayores valores de fósforo que el resto de tratamientos (Figura 31).

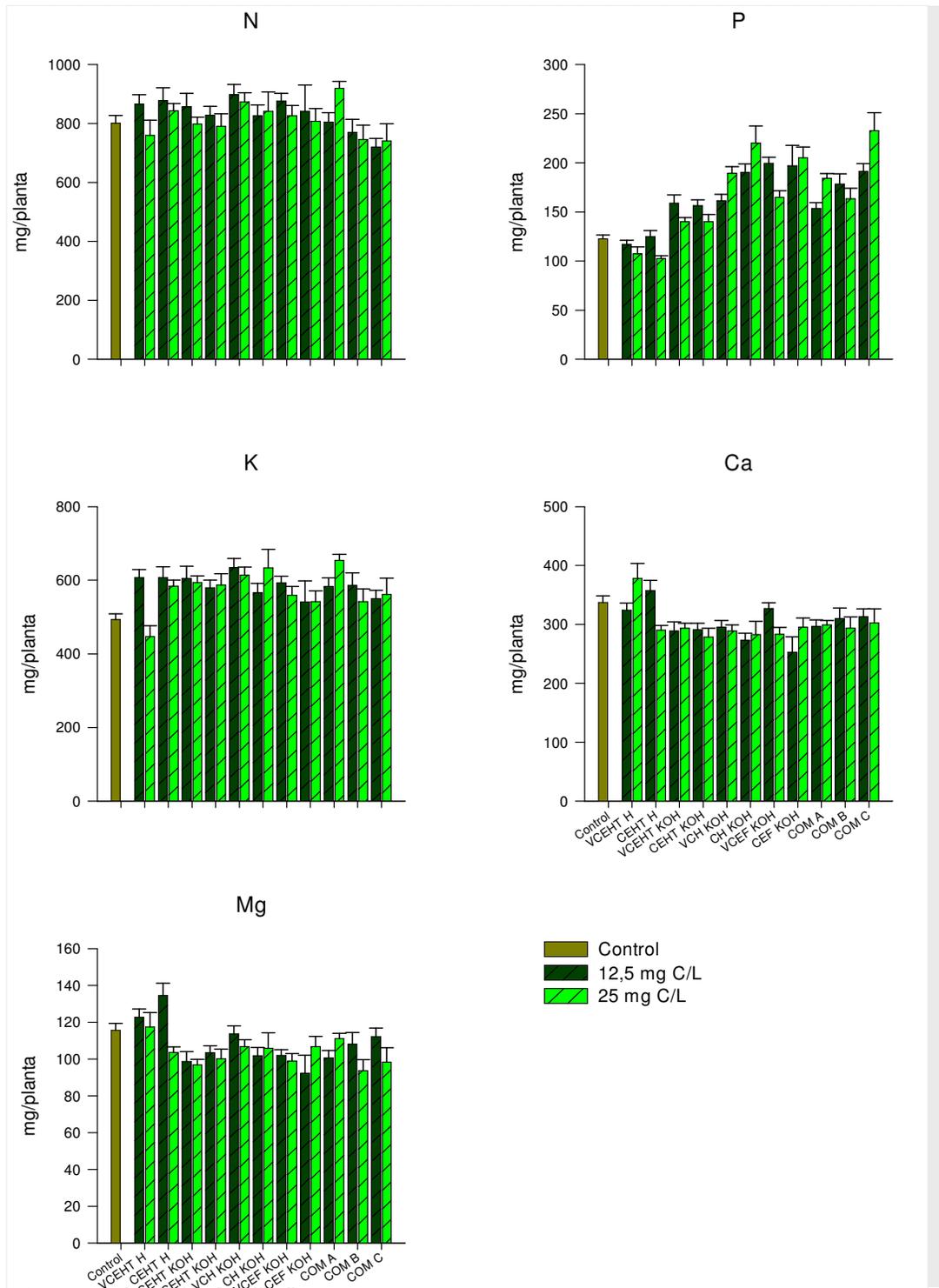


Figura 29. Absorción de macronutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

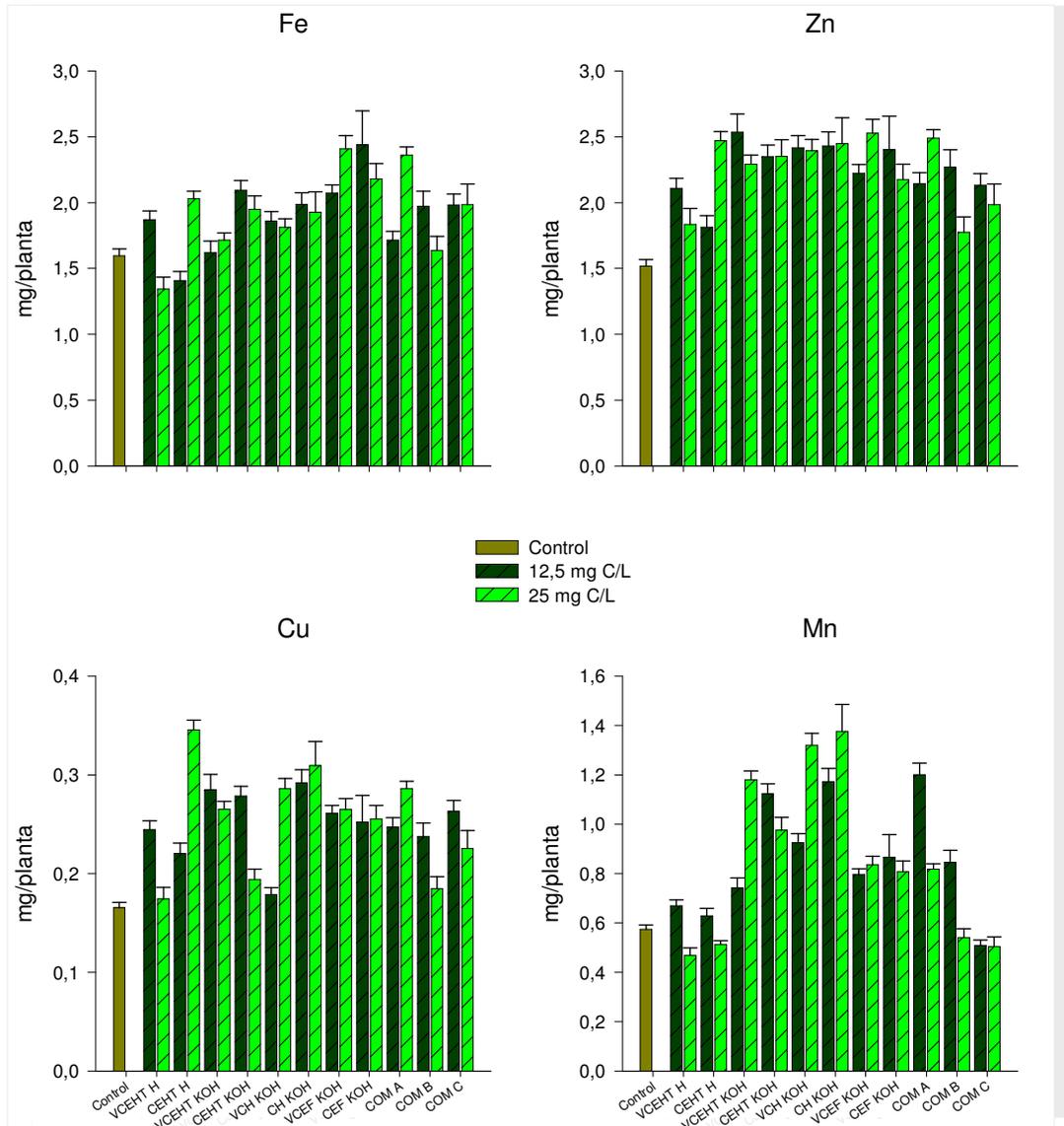


Figura 30. Absorción de micronutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

En cambio, las plantas de espinaca tratadas con las SHs extraídas del VC y compost de alperujos registraron valores de potasio y calcio similares a los obtenidos en el control (Figura 31).

En cuanto a la absorción de micronutrientes por las plantas de espinaca, se constata que los tratamientos a base de SHs del VC y compost presentaron valores de micronutrientes superiores a los conseguidos en el control, excepto las que recibieron aspersiones foliares de ácidos húmicos alcalinos del VC y compost (Figura 32). En esta misma figura, también se observa que las plantas

tratadas con SHs extraídas con agua del VC y compost, las que recibieron el extracto húmico total alcalino del VC o los ácidos fúlvicos alcalinos del VC y compost de alperujos dieron valores similares de hierro, cinc y manganeso superiores al resto de tratamientos, y similares a los obtenidos con el COM A.

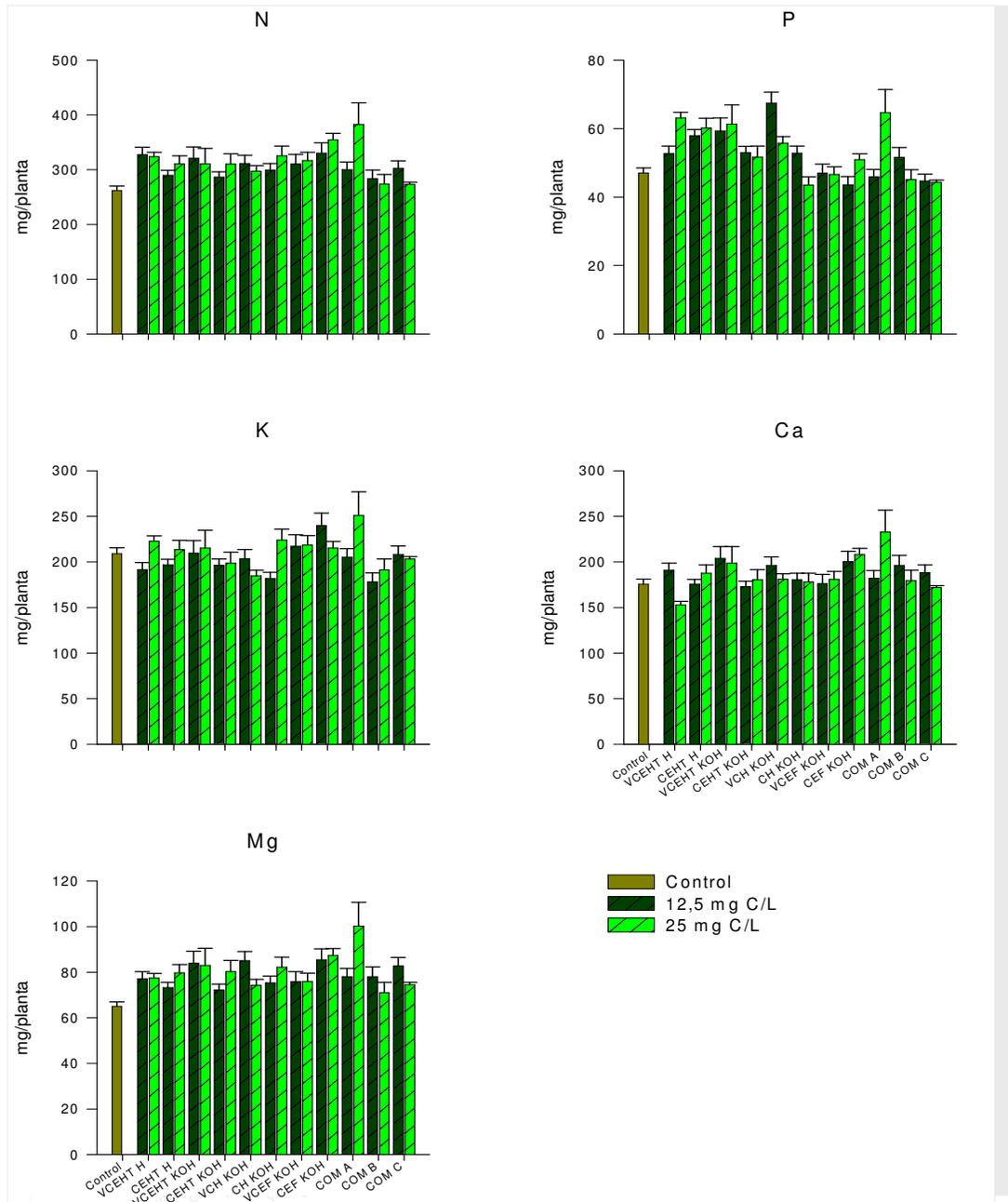


Figura 31. Absorción de macronutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

Por otra parte, señalar que las plantas de espinaca tratadas con el extracto húmico total alcalino del VC, los ácidos fúlvicos alcalinos del compost y el COM A presentaron absorciones de cobre superiores a las del resto de tratamientos.

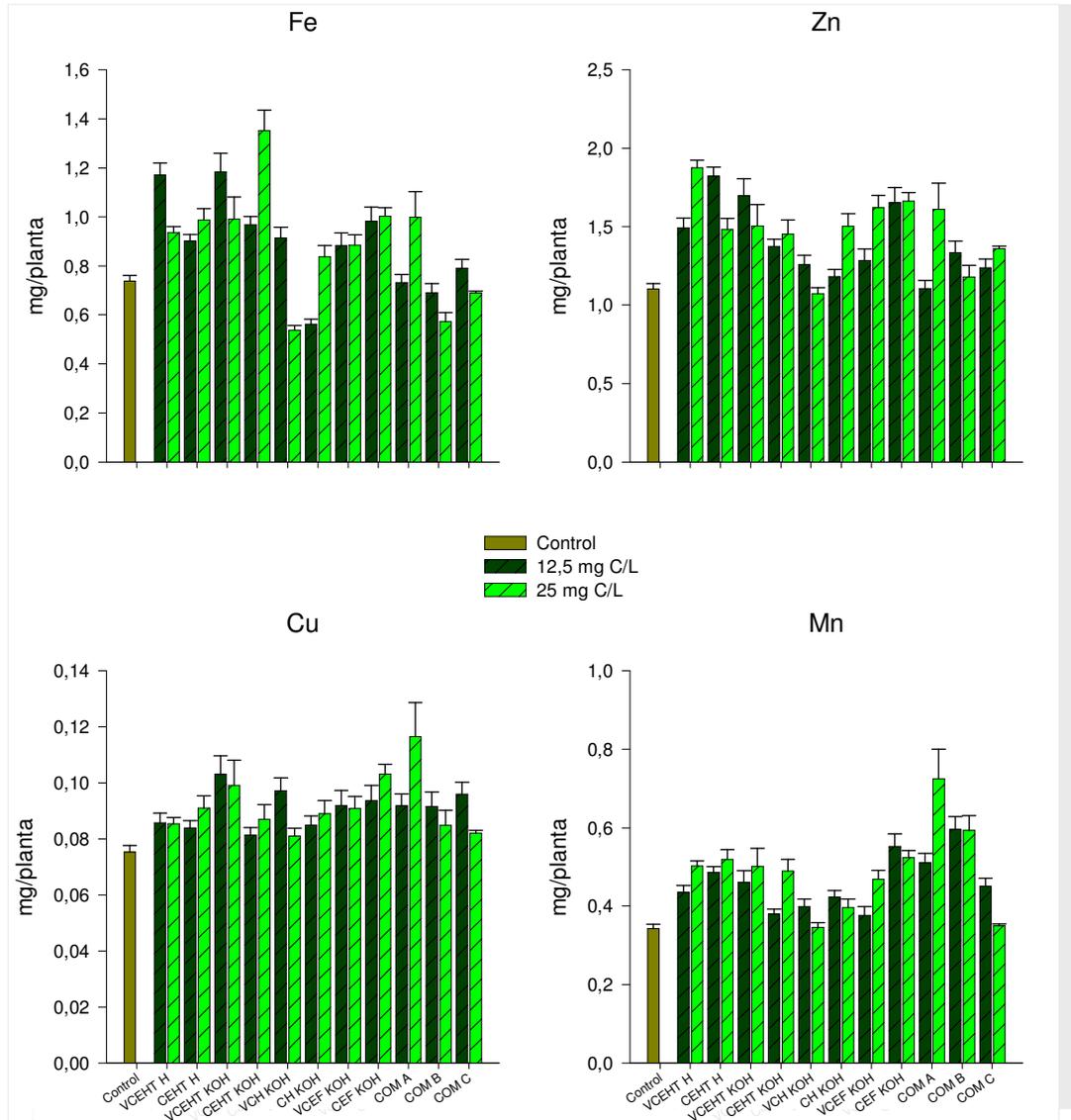


Figura 32. Absorción de micronutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con sustancias húmicas extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos (experimento 5)

De los productos comerciales, el COM A aplicado a 25 mg C/L produjo los resultados más consistentes en los valores de absorción de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cobre y manganeso. Este producto húmico, en relación al control, mostró una tendencia positiva en la absorción de todos los nutrientes directamente proporcional al aumento de la dosis, hecho que cabe atribuir principalmente a la mayor producción obtenida de biomasa seca total en las plantas de espinaca.

A excepción de lo observado en el COM A, en todos los tratamientos aplicados en las plantas de espinaca, la respuesta en la absorción de nutrientes en función de la dosis aplicada resultó inconsistente y mostró diferentes patrones de variación.

Por último, indicar que los ácidos húmicos alcalinos del VC a 25 mg C/L registraron menores valores de absorción de hierro que el control, un efecto que puede atribuirse a la menor producción de biomasa seca obtenida con este tratamiento.

3.4. Valoración de la aplicación foliar de extractos acuosos de los composts de alperujos (experimento 6)

3.4.1. Efectos en los parámetros de crecimiento y producción

Lechuga

En la Tabla 32 se presentan los resultados correspondientes a las lechugas tratadas con extractos acuosos del VC y compost de alperujos. En el análisis por factores, se observa que entre los extractos valorados se alcanzaron diferencias significativas en biomasa total, en biomasa seca de tálamo, y en altura de tálamo. El efecto dosis y la interacción extractos por dosis no resultaron significativos en los parámetros de crecimiento y producción.

En la comparación entre tratamientos por el test de Tukey, mostrado en la Tabla 32, se constata que las plantas de lechuga tratadas con el extracto del VC a 1 g/L dieron mayor valor de biomasa fresca total que el control, y con este mismo producto a 0,5 g/L, los valores de altura de planta resultaron superiores a los del control. La aplicación del extracto del compost a 1 g/L a las plantas de lechuga originó una biomasa seca total y de tálamo superior al control. También se aprecia que los tratamientos a base de extractos acuosos dieron similares valores de biomasa fresca y altura de tálamo, y todos resultaron superiores a los del control.

En general, se aprecia un efecto más consistente de los tratamientos con extractos acuosos del VC de alperujos, con una influencia más notoria sobre el vigor de las plantas. El incremento observado en la producción de biomasa fresca en la lechuga se muestra en la Tabla 32. Este efecto es concordante con lo indicado por Guvenc *et al.* (1999) y Piccolo *et al.* (1993). Tal efecto parece estar asociado a un mayor contenido y eficiencia en el uso de agua (Piccolo *et al.*, 1993), pero en otros casos (Zhang y Schmidt, 1999) se atribuyó a una mayor acumulación de antioxidantes en las hojas derivada de la aplicación de los extractos orgánicos o sustancias húmicas (SHs).

Tabla 32. Parámetros de producción y crecimiento en lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos (experimento 6)

Tratamientos	Lechuga							Espinaca			
	Biomasa total		Biomasa de tálamo		Altura		Diámetro tálamo (cm)	Biomasa total		Altura total (cm)	
	Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)	Fresca (g)	Seca (g)	Total (cm)	Tálamo (cm)		Fresca (g/planta)	Seca (g/planta)		
Control	432 a	20,3 a	22,7 a	1,67 a	27,8 a	8,75 a	2,42 a	98,3 a	8,06 a	28,5 a	
VC0,5	513 bc	22,3 ab	36,1 b	2,18 ab	29,5 b	11,08 b	2,53 a	91,8 a	8,02 a	28,2 a	
VC1	527 c	20,8 a	36,2 b	2,40 ab	28,8 ab	11,25 b	2,53 a	87,7 a	7,92 a	28,5 a	
C0,5	485 b	23,1 ab	34,9 b	2,47 b	29,3 ab	10,67 b	2,35 a	91,8 a	8,20 a	28,2 a	
C1	498 bc	25,5 b	36,3 b	2,97 b	28,7 ab	10,33 b	2,47 a	99,3 a	8,60 a	29,0 a	
Partición	gl	Cuadrados medios									
Extractos vs Control	1	25869,68 ***	34,03 *	837,94 ***	3,37 **	7,50 **	20,83 ***	0,01 NS	153,91 NS	0,08 NS	0,01 NS
Extracto	1	4782,73 **	44,55 *	2,22 NS	1,08 *	0,17 NS	2,67 *	0,09 NS	201,26 NS	1,10 NS	0,38 NS
Dosis	1	1109,76	1,35	3,15	0,77	2,67	0,04	0,02	16,17	0,14	2,04
Lineal		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Extracto x Dosis	1	0,03 NS	24,20 NS	2,34 NS	0,12 NS	0,00 NS	0,38 NS	0,02 NS	201,26 NS	0,36 NS	0,38 NS
										Valores en una	

columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: compost, VC: vermicompost, ambos a 0,5 y 1 g/L. Control sin fertilización foliar

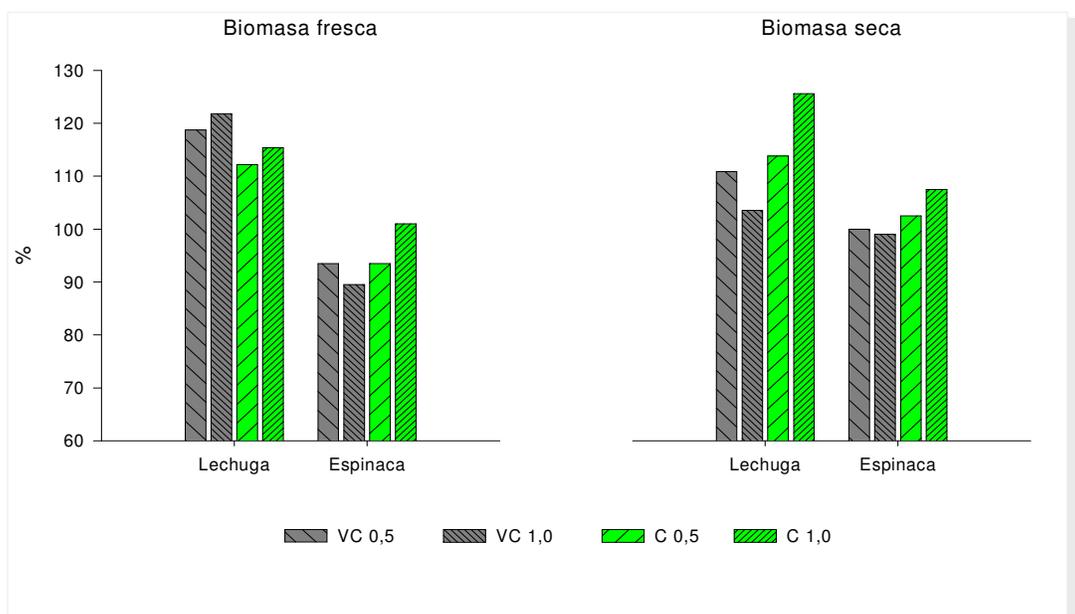


Figura 33. Biomasa fresca y seca relativa (control 100%) de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos (experimento 6)

Espinaca

Los resultados obtenidos sobre los efectos de los extractos acuosos en la espinaca se indican en la Tabla 32 y Figura 33. Las plantas tratadas con aspersiones foliares de extractos acuosos a las dosis valoradas no dieron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento y producción. Estos resultados indican un efecto nulo de los extractos acuosos en la espinaca.

Unas respuestas similares en rendimiento y calidad se observaron en lechuga tratada con extractos orgánicos o SHs (Guvenc *et al.*, 1999; Young y Chen, 1997). En cambio, en otros estudios con el cultivo de espinaca sí se observaron incrementos en desarrollo, calidad y balance de nutrientes al aplicar estiércol y aspersiones con fertilizantes foliares comerciales (Mitova y Stancheva, 2003), así como mayores rendimientos en plantas de *Eruca vesicaria* subsp. sativa tratadas con fertilización mineral más aplicaciones foliares de extractos orgánicos del 1 al 3% obtenidos de residuos sólidos urbanos (Alromian y Nassar, 2004).

Como se refleja en la Figura 34, la aplicación foliar de extractos acuosos de compost y VC de alperujos influyó de manera significativa en el porcentaje de materia seca (PMS) sólo en las plantas de espinaca. Así, en la lechuga los respectivos extractos no originaron diferencias significativas con respecto al testigo, en cambio en la espinaca los extractos VC a 1,0 mg/L y C a 0,5 g/L produjeron con respecto al testigo aumentos significativos de materia seca.

La comparación entre los dos tipos de productos indica que las diferencias únicamente se reflejaron en la lechuga, con contenidos de materia seca algo más altos con los extractos de VC que con el compost.

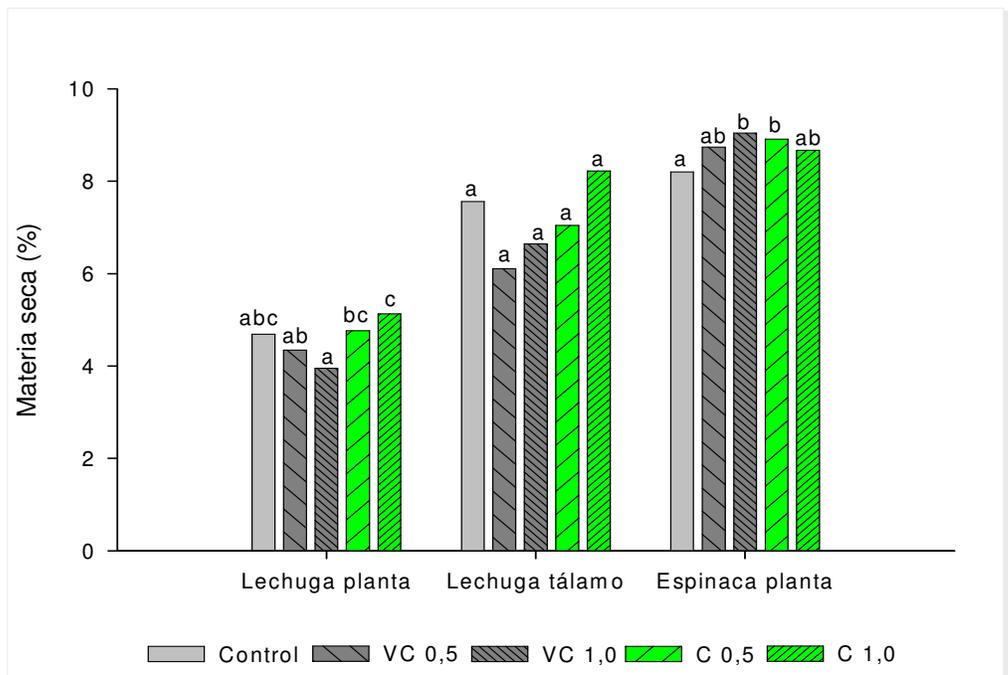


Figura 34. Porcentaje de materia seca de las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos (experimento 6)

3.4.2 Efectos en el contenido de nutrientes en los cultivos

Lechuga

Los resultados obtenidos sobre los efectos de los extractos acuosos en la lechuga se indican en la Tabla 33. Tanto entre los tratamientos entre sí como entre el conjunto de los extractos frente al control se obtuvieron diferencias significativas en todos los nutrientes. Entre las plantas tratadas con extractos de VC y las que recibieron los extractos de compost se presentaron diferencias significativas en el fósforo, potasio y manganeso. El efecto dosis resultó significativo en los contenidos de fósforo, potasio, magnesio, cobre, manganeso y hierro. Y la interacción extracto por dosis mostró significación estadística en todos los nutrientes, excepto en el potasio y cobre.

La comparación entre tratamientos, por el test de Tukey, se indica en la Tabla 33. Las plantas de lechuga tratadas con extractos acuosos alcanzaron valores superiores a los del control en el contenido de fósforo, potasio, cobre, hierro y cinc. Y, en general, se observó un efecto superior de los extractos de VC, excepto en el contenido de manganeso y cinc.

El aumento en la dosis de los extractos originó un efecto progresivamente ascendente en el contenido de fósforo, magnesio, cobre y manganeso. En el potasio, este efecto resultó opuesto al anterior, y los niveles de hierro incrementaron únicamente con el VC. En otras investigaciones (Nikolic *et al.*, 2003; Bhattacharya *et al.*, 1997; Guvenc *et al.*, 1999) con las aplicaciones foliares de extractos orgánicos o SHs extraídas con agua en cultivos como girasol, patata y lechuga también se obtuvieron incrementos en el contenido de nutrientes.

Por otro lado, señalar que los niveles foliares de nutrientes se encontraron dentro de los intervalos considerados como normales para el cultivo de lechuga (Maynard y Hochmuth, 1997), a excepción del potasio que registró un nivel inferior al umbral de normalidad.

Tabla 33. Contenido de nutrientes en las plantas de lechuga tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de composts de alperujos (experimento 6)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,87 b	0,60 a	2,43 a	1,66 d	0,57 b	8,16 a	28,3 c	78,8 a	74,9 a
VC0,5		3,66 a	0,68 b	2,68 c	1,37 ab	0,45 a	9,76 bc	22,2 a	76,3 a	87,2 b
VC1		3,83 ab	0,87 d	2,61 c	1,59 cd	0,53 b	11,24 d	25,5 bc	94,8 c	101,8 c
C0,5		3,75 ab	0,67 b	2,52 b	1,49 bc	0,47 a	9,34 b	22,7 ab	88,3 b	97,1 c
C1		3,72 ab	0,72 c	2,40 a	1,34 a	0,48 a	10,73 cd	31,5 d	78,2 a	86,7 b
Partición	gl	Cuadrados medios								
Extractos vs Control	1	0,12 *	0,12 ***	0,11 ***	0,34 ***	0,06 ***	32,13 ***	56,9 **	228,1 **	2411,2 ***
Extracto	1	0,00 NS	0,06 ***	0,31 ***	0,04 NS	0,00 NS	1,93 NS	97,0 ***	48,2 NS	58,3 NS
Dosis	1	0,04	0,13	0,09	0,01	0,02	18,53	330,7	156,7	39,4
Lineal		NS	***	***	NS	***	***	***	**	NS
Extracto x Dosis	1	0,09 *	0,04 ***	0,01 NS	0,30 ***	0,01 ***	0,02 NS	69,2 **	1852,2 ***	1405,6 ***

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: compost. VC: vermicompost ambos a 0,5 y 1 g/L. Control sin fertilización foliar

Tabla 34. Contenido de nutrientes en las plantas de espinaca tratadas mediante la aplicación foliar con extractos acuosos de compost de alperujos (experimento 6)

Tratamientos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control		3,25 ab	0,58 d	2,59 a	2,18 ab	0,81 a	9,34 b	42,5 a	91,5 a	137 ab
VC0,5		3,42 cd	0,46 ab	2,55 a	2,37 c	0,93 bc	9,11 b	47,2 ab	100,8 ab	126 a
VC1		3,52 d	0,45 a	2,61 a	2,26 bc	0,96 c	8,51 a	45,8 ab	104,1 b	137 ab
C0,5		3,10 a	0,47 b	2,44 a	2,17 ab	0,90 b	8,33 a	52,3 bc	91,1 a	168 b
C1		3,30 bc	0,50 c	2,60 a	2,09 a	0,93 bc	9,16 b	56,4 c	97,1 ab	153 ab
Partición	gl	Cuadrados medios								
Extractos vs Control	1	0,01 NS	0,09 ***	0,01 NS	0,01 NS	0,11 ***	2,28 ***	447,5 **	328,3 *	625,1 NS
Extracto	1	0,06 ***	0,01 ***	0,03 NS	0,30 ***	0,01 *	0,04 NS	556,3 **	625,1 **	7638,4 **
Dosis	1	0,06 **	0,00 *	0,11 *	0,09 **	0,01 *	0,12 NS	17,3 NS	192,6 NS	47,9 NS
Lineal										
Extracto x Dosis	1	0,01 NS	0,00 ***	0,02 NS	0,00 NS	0,00 NS	4,62 ***	69,3 NS	17,2 NS	1511,3 NS

Valores en una columna con la misma letra no son diferentes significativamente ($p < 0,05$) por Tukey. NS: diferencias no significativas, *, **, ***: diferencias significativas al 0,05, 0,005 y 0,001% por factor. C: compost. VC: vermicompost ambos a 0,5 y 1 g/L. Control sin fertilización foliar

Espinaca

Los resultados en el contenido de nutrientes en las hojas de espinaca tratadas con extractos acuosos se presentan en la Tabla 34. Todos los extractos acuosos, en comparación con el control, registraron diferencias significativas en el fósforo, magnesio, cobre, manganeso y hierro. Las plantas tratadas con extractos acuosos de VC, en comparación con las que recibieron extractos de compost, mostraron diferencias significativas en todos los nutrientes, excepto en el potasio y cobre. El efecto dosis resultó significativo en el contenido foliar de los macronutrientes. Y la interacción extracto por dosis también resultó significativa en el contenido foliar de fósforo y cobre.

El análisis entre tratamientos, según el test de Tukey, en la espinaca se indica en la Tabla 34. En comparación con el testigo, los tratamientos aplicados manifestaron un patrón muy variable; así, en unos casos se obtuvieron aumentos: en el magnesio (con los cuatro tratamientos), en el nitrógeno (con los tratamientos VC 0,5 y VC 1,0), en el manganeso (con los tratamientos C 0,5 y C 1,0) y en el calcio (con el tratamiento VC 0,5); en cambio, en otros casos se registraron disminuciones: en el fósforo (con los cuatro tratamientos), y en el cobre (con los tratamientos C 0,5 y C 1,0).

Asimismo, podemos indicar que en base a los niveles críticos de nutrientes en hojas de espinaca (Gülser, 2005), los resultados obtenidos en nuestro trabajo registraron los siguientes contenidos: nivel bajo para el potasio, nivel suficiente para el nitrógeno, fósforo, magnesio, cobre, manganeso y hierro, y nivel alto para el calcio y cinc.

Las diferencias observadas en la respuesta de ambos cultivos a la aplicación de extractos acuosos tanto en el contenido foliar de nutrientes como en los parámetros de producción pueden ser atribuibles, entre otras causas, al ciclo más corto del cultivo de espinaca, así como a posibles diferencias anatómicas y fisiológicas de las hojas (Keller y Romer, 2001), que pudieron haber influido en una menor absorción de los nutrientes.

El efecto de las aspersiones con extractos acuosos de VC sobre el incremento observado en el contenido de los nutrientes en ambas especies usadas en el presente estudio, coincide con lo observado en maíz y arroz fertilizados por vía foliar con alperujos en suspensión en agua (Tejada y

González, 2003b, 2004b). Si bien, la aplicación foliar de los alperujos mejoró de manera significativa el rendimiento y la calidad de estos cultivos. No obstante, esta aplicación foliar también puede provocar daños foliares a la dosis de 0,5 cm³/L (Tejada y González, 2003b, 2004b). A diferencia de lo observado en estas especies, en nuestro estudio las aspersiones foliares de compost y VC aplicados a 1 g/L no originaron síntomas de fitotoxicidad ni en la lechuga ni en la espinaca.

En general podemos indicar que los extractos acuosos de VC registraron los resultados más consistentes en el contenido de nutrientes, mientras que las aspersiones foliares de extractos acuosos de compost incrementaron las cantidades de cobre y cinc en ambas especies estudiadas. Este efecto promovido por los extractos puede ser causado por una acción estimuladora de las SHs sobre la absorción y transporte de nutrientes como se ha puesto de manifiesto en otras investigaciones (Quaggiotti *et al.*, 2004).

3.4.3 Efectos en la absorción de nutrientes minerales por los cultivos

Lechuga

Los valores de absorción de nutrientes en la lechuga tratada con extractos acuosos se indican en las Figuras 35 y 36. Las plantas que recibieron aspersiones foliares a base de extractos acuosos de VC y compost consiguieron mayores cantidades de absorción que el control en todos los nutrientes, excepto en el calcio y magnesio. Los extractos de compost a 1 g/L dieron los mayores valores de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, cobre y manganeso.

Por otra parte, señalar que el aumento de la dosis de los extractos originó una tendencia positiva en la absorción de fósforo, magnesio, cobre y manganeso.

Espinaca

Los valores de absorción de nutrientes en la espinaca tratada con extractos de VC y compost de alperujos se indican en las Figuras 35 y 36. Las plantas que recibieron extractos de compost a 1 g/L alcanzaron valores de magnesio, cobre y manganeso superiores a los obtenidos en el control. El compost a 0,5 g/L produjo la mayor absorción de cinc. Es de resaltar que las aspersiones foliares con los extractos de composts provocaron el mayor efecto estimulador en la absorción de nutrientes como el cinc y manganeso.

Asimismo, se constató que al aumentar la dosis de los extractos se produjo una tendencia ascendente en los valores de absorción de los nutrientes.

Finalmente, indicar que en los dos cultivos utilizados para la valoración de las aspersiones foliares con extractos acuosos, se apreciaron mejores resultados de absorción de los nutrientes con los extractos obtenidos a partir del compost que con los extractos acuosos de VC derivados de alperujos.

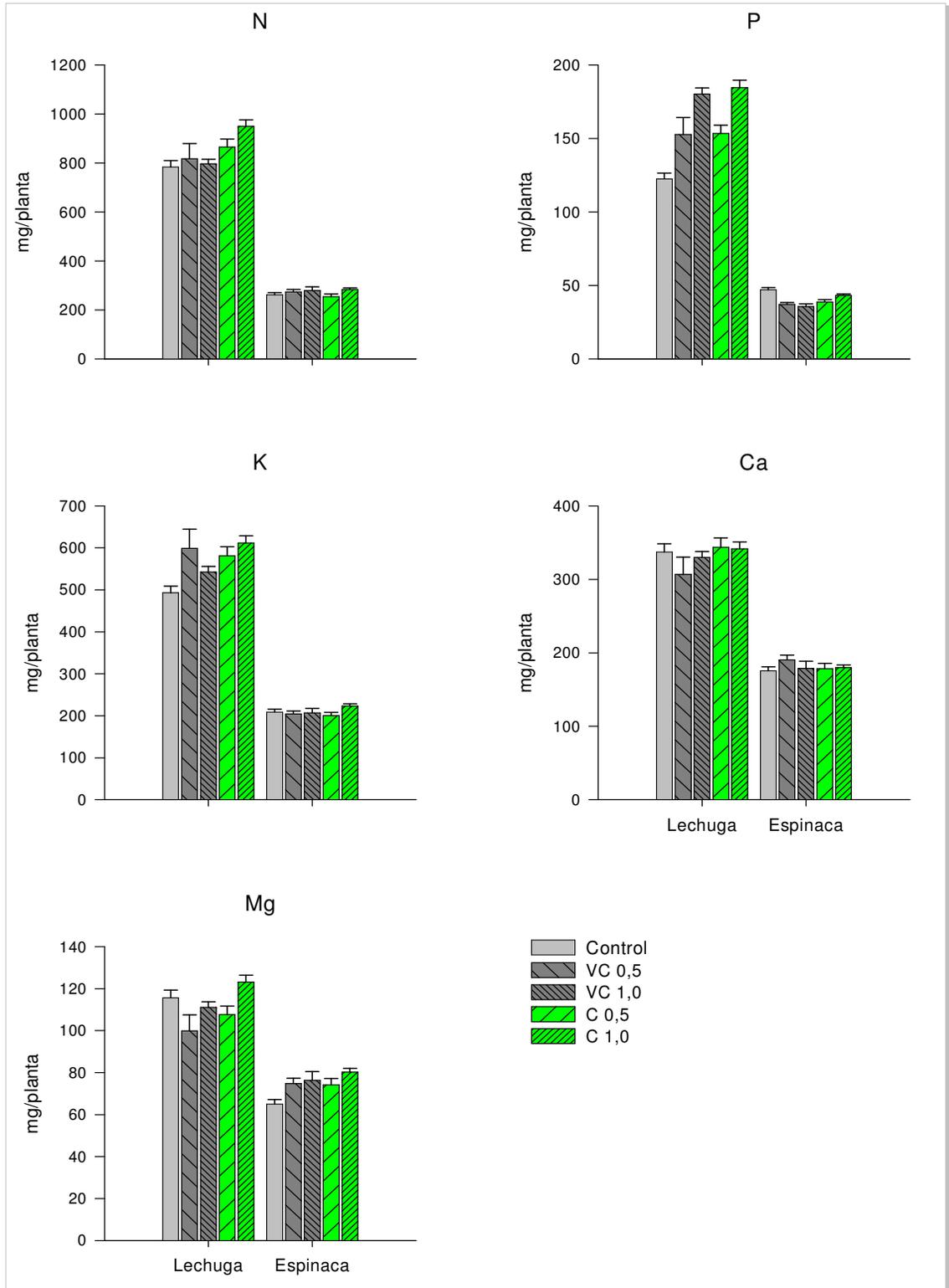


Figura 35. Absorción de macronutrientes por las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar de extractos acuosos de composts de alperujos (experimento 6)

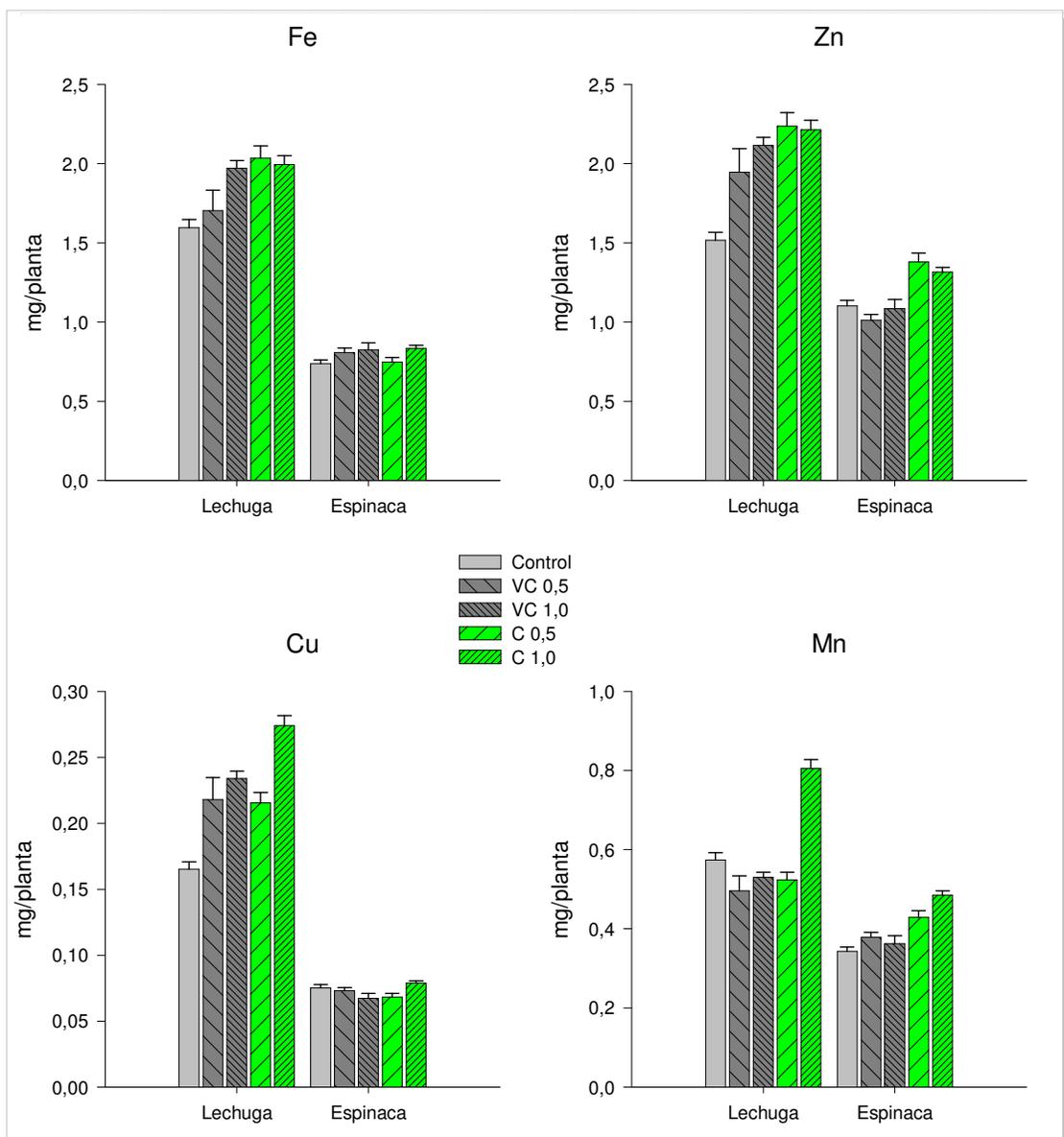


Figura 36. Absorción de micronutrientes por las plantas de lechuga y espinaca tratadas mediante la aplicación foliar de extractos acuosos de compuestos de alperujos (experimento 6)



CONCLUSIONES

En relación a la valoración de los composts de alperujos (experimentos 1 y 2)

El efecto de los composts de alperujos sobre los parámetros de crecimiento y producción en el cultivo de lechuga resultó bajo y variable, desde insignificante hasta depresivo, en función del tipo de compost, dosis de aplicación y experimento. En cambio, el fertilizante mineral resultó muy efectivo, registrando con respecto al control un aumento de biomasa fresca entre el 54 y 89%.

Los indicadores de eficiencia del nitrógeno registraron valores muy bajos e incluso negativos en bastantes tratamientos con compost, mostrando una evidencia adicional del escaso valor como fuente de nitrógeno de los composts aplicados.

Los contenidos de materia seca en las plantas de lechuga abonadas con los composts resultaron similares a los de las plantas del control, pero bastante más altos que los obtenidos con el fertilizante mineral.

El efecto de los composts sobre los parámetros nutricionales, contenido y la absorción de nutrientes, resultó también escaso; en cambio, el fertilizante mineral resultó bastante efectivo para aumentar el contenido foliar de algunos elementos (nitrógeno, magnesio y cinc) y la absorción de todos los elementos, excepto el potasio.

La comparación entre los tres tipos de composts indica que a pesar de la variabilidad resultante entre los resultados del ensayo 1 y 2, se obtuvo la siguiente secuencia de efectividad: CPII > CPI > CPIII.

El efecto de la dosis de composts resultó variable entre ambos experimentos; en el primero, no mostró significación estadística, pero en el segundo sí resultó significativo, constatándose un efecto depresor del composts sobre las plantas de lechuga proporcional a la dosis de aplicación.

En relación a valoración del vermicompost de alperujos (experimento 3)

El vermicompost de alperujos registró mejores características físico-químicas y químicas que las del compost de alperujos, pero los resultados en los parámetros productivos de los cultivos mostraron escasas diferencias en el

cultivo de la lechuga, y valores superiores con el composts en el caso de la espinaca.

Con respecto al control, el efecto de vermicompost sobre los parámetros nutricionales (contenido y absorción) resultó variable según el cultivo, y en general de escasa magnitud, excepto en los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en hojas de espinacas. Y entre los dos productos fertilizantes comparados, las diferencias no resultaron, en general, significativas.

Los índices de eficiencia del nitrógeno aportado con el vermicomposts y el compost registraron, al igual que en los experimentos 1 y 2, unos valores muy bajos, con algunas diferencias entre ambos productos fertilizantes en función de la dosis, cultivo e indicador de eficiencia.

El efecto dosis de aplicación influyó escasamente en los parámetros productivos de la lechuga y espinaca, pero resultó significativo en los contenidos y absorción de determinados nutrientes, mostrando en la mayoría de los casos, una tendencia descendente.

En relación a la valoración de las sustancias húmicas líquidas aplicadas al suelo (experimento 4)

Ninguna de las sustancias húmicas (las extraídas de un compost y un vermicompost de alperujos así como los productos comerciales) aplicadas al suelo en forma líquida afectaron de forma significativa a la producción de biomasa en las plantas de lechuga y espinaca.

La evaluación global media del rendimiento de biomasa fresca en las plantas tratadas con sustancias húmicas respecto al control (valor 100), registró unos valores de 99 y 93, en los cultivos de lechuga y espinacas, respectivamente.

El efecto de las sustancias húmicas en los parámetros nutricionales de los cultivos implantados, a pesar de registrarse diferencias significativas en la mayoría de los casos, resultó poco consistente.

El efecto dosis influyó de manera significativa en el contenido de macro y micronutrientes en ambos cultivos, pero únicamente presentó un efecto beneficioso apreciable en el contenido foliar de hierro.

En relación a la valoración de la aplicación foliar de sustancias húmicas líquidas (experimento 5)

La aplicación foliar de sustancias húmicas puso de manifiesto un bajo efecto sobre el crecimiento y producción de la lechuga, y no resultó efectiva para mejorar ni la producción de biomasa fresca y seca ni el crecimiento de las plantas de espinaca. El rendimiento medio de biomasa fresca en las plantas tratadas con sustancias húmicas respecto al control (valor 100), registró unos valores de 100 y 104, en los cultivos de lechuga y espinacas, respectivamente.

Respecto a los contenidos de nutrientes, las sustancias húmicas resultaron poco efectivas para mejorar el estado nutricional del cultivo de lechuga. En la espinaca, el efecto dependió del producto utilizado, originando efectos beneficiosos en el contenido y en la absorción del nitrógeno, fósforo, calcio, hierro, cinc y cobre.

El efecto dosis mostró significación estadística en el contenido de algunos nutrientes, en niveles que dependieron de la especie cultivada y del elemento en cuestión; resultando beneficioso en el contenido de varios micronutrientes (cinc, manganeso y hierro) y, en la mayoría de los elementos, la dosis alta fue superior a la dosis baja.

En relación a la valoración de la aplicación foliar con los extractos acuosos (experimento 6)

La aplicación foliar de extractos acuosos de compost y vermicompost de alperujos resultó beneficiosa para aumentar la biomasa tanto fresca como seca únicamente en el cultivo de lechuga. Y las diferencias entre ambos extractos resultaron escasas.

Aunque el contenido nutricional en ambos cultivos fue afectado por los extractos acuosos de compost y vermicompost, el efecto resultó más acusado en las plantas de lechuga que en las de espinaca, pero las tendencias mostraron bastante variabilidad en función del elemento, cultivo y producto aplicado.

La aspersión foliar con extractos acuosos de composts y vermicomposts se vislumbra como una alternativa interesante, en algunos cultivos

(particularmente en sistemas de producción ecológica), para aprovechar de forma fácil los nutrientes hidrosolubles contenidos en los productos derivados de los alperujos.

A modo de resumen podemos indicar que de los resultados obtenidos en los seis experimentos realizados, se infiere que el valor agronómico de los productos derivados de los alperujos, tanto en forma sólida (compost y vermicompost) aplicados como enmendantes del suelo, o en forma líquida (extractos húmicos) aplicados al suelo o vía foliar, han puesto de manifiesto, en general, un bajo valor agronómico. Por el contrario, los extractos acuosos de compost y vermicompost han dado una respuesta claramente positiva en uno de los dos cultivos estudiados. Por ello, consideramos conveniente realizar nuevas investigaciones sobre los puntos siguientes:

- Evaluación del efecto acumulativo y residual de la materia orgánica contenida en el compost y vermicompost de alperujos en ensayos de campo de larga duración y con dosis más altas que las utilizadas en este estudio.
- Evaluación agronómica de los extractos acuosos de productos derivados del alperujo en condiciones de cultivo en campo, en otras especies vegetales, y dosis de aplicación más elevadas.
- Estudiar la viabilidad de la valorización energética de los alperujos como alternativa de aprovechamiento de estos residuos, particularmente, en las zonas olivareras que producen ingentes cantidades de residuos de almazara.

BIBLIOGRAFÍA

- Aktas, E. S., Imre, S. and Ersoy, L. 2001. Characterization and lime treatment of olive mill wastewater. *Water Research*. 35(9):2336-2340.
- Alarcón, A. L., Fernández, P., Egea, C. y Pérez, J. L. 2003. Utilización de materia orgánica líquida en cultivos sin suelo de pimiento. Influencia sobre desarrollo radicular y producción. *Nutri Fitos* 2:121-125.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo F. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendmends to a horticultural soil. *Bioresouce Technology*. 75:43-48.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo F. 2001. Organic matter componets and aggregate stability after the application of different amendmends to a horticultural soil. *Bioresouce Technology*. 76:125-129.
- Albiach, R., Tarrazona, F., Canet, R., Baixauli, C., Aguilar, J. M. y Pomares, F. 2008. Contenido de nutrientes en varias hortalizas cultivadas en un suelo enmendado con diferentes enmiendas orgánicas sólidas. *Actas de Horticultura. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas*. p 201 – 207.
- Albiach, R., Tarrazona, F., Canet, R., Pomares, F., Baixauli, C. y Aguilar, J. M. 2008. Contenido de nutricional en cultivos hortícolas tratados con varias enmiendas orgánicas líquidas aplicadas al suelo con el riego. *Actas de Horticultura. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas*. p 208 – 213.
- Albuquerque, J. A., González, J., García, D. and Cegarra, J. 2004. Agrochemical characterisation of alperujo, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*. 91:195-200.
- Albuquerque, J. A., González, J., García, D. and Cegarra, J. 2006a. Effects of bulking agent on the composting of “alperujo”, the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry*. 41:127 – 132.
- Albuquerque, J. A., González, J., García, J. and Cegarra, J. 2006b. Measuring detoxification and maturity in compost made from “alperujo”, the solid by-product of extraction olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 64:470- 477.
- Al-Kahal, A. A., Mekhemar, G. A. A. and El-Soud, A. A. 2001. Response of faba bean plants to organic fertilization with olive wastes. *Annals of Agricultural Science Cairo*. 46(2):565 – 578.
- Al-Widyan, M. I., Al-Abed, N. and Al-Jalil, H. 2005. Effect of composted olive cake on soil physical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36:1199-1212.
- Allison, F. E. 1973. *Soil organic matter and its role in crop production*. Elsevier. New York.

- Alromian, F. M. and Nassar, I. N. 2004. Effect of municipal solid waste on the growth of rocket and spinach plants. *Pakistan Journal of Biological Science*. 7(8):1316-1321.
- A.O.A.C. 1975. Official methods of the association of official analytical chemist. Washington.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., Lee, S. and Welch, C. 2002. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. *Pedobiologia*. 47:1-5.
- Arancon, N. Q., Lee, S., Edwards, C. A. and Atiyeh, R. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicompost on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia*. 47:2-4.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: I. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*. 93:145-153.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., and Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2: Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*. 97:831-840.
- Aranda, E., Sampedro, I., Ocampo, J. A. y García, I. 2002. Reducción de la fitotoxicidad del extracto acuoso de alperujo en plantas de tomate mediante el uso de *Fusarium lateritum*. *Jornadas de Investigación y Transferencia de Tecnología Oleícola Andalucía 2002*. pp. 233-236.
- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S. and Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*. 78:11-20.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N. Q., Edwards, C. A. and Metzger, J. D. 2002a. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*. 81:103-108.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Metzger, J. D. 2002b. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*. 84:7-14.
- Ayanlaja, S. A., Owa, S. O., Adigun, M. O., Snejobi, B. A. and Olaleye, A. O. 2001. Leachate from Earthworm castings breaks seed dormancy and preferentially promotes radicle growth in jute. *HorScience*. 36(1):143-144.
- Ayas, H. and Gülser, F. 2005. The effect of sulfur and humic acids on yield components and macronutrient contents of spinach (*Spinacea oleracea* var. Spinoza). *Journal of Biological Sciences*. 5(6):801-804.

- Ayuso, M., Moreno, J. L., Hernández, T. and García, C. 1997. Characterization and evaluation of humic acids extracted from urban wastes as liquid fertilisers. *J. Sci. Food Agric.* 75:481-488.
- Azbar, N., Bayram, A., Filibeli, A., Muezzinoglu, M. Sengul, F. and Ozer, A. 2004. A review of waste management options in olive oil production. *Critical Review in Environmental Science and Technology.* 34:209-247.
- Baca, M. T., Delgado, I. C., De Nobili, M., Esteban, E. and Sánchez, R. A. J. 1995. Influence of compost maturity on nutrient status of sunflower. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 26(1-2):169-181.
- Baddi, G. A., Hafidi, M., Gilard, V. and Revel, J. C. 2003. Characterization of humic acids produced during composting of olive mill waste: elemental and spectroscopic analyses (FTIR and ^{13}C -NMR). *Agronomie.* 23:661-666.
- Baeta, H. L., Sàágua, M. C., Bartolomeu, M. L., Anselmo, A. M. and Rosa, M. F. 2005. Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresourse Technology.* 96:69 – 78.
- Barreto, C., Rozas, Ma. A., López, P. A., Nunes, J. M. y García, A. 2000. Efectos de la aplicación de residuos de almazara en el fósforo asimilable y otras propiedades edáficas de un olivar de regadío. *Edafología.* 7(2):29-38.
- Benítez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G. and Ceccanti, B. 1999. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Einsenía andrei*. *Bioresourse Technology.* 67:297 – 303.
- Benítez, C. C., Gil, T. J. y González, F. J. L. 2000a. Influencia de la humedad en la evolución de parámetros químicos de un suelo tras la adición de alperujo. *Edafología.* 7(2):215-220.
- Benítez, E., Melgar, R., Sainz, H., Gómez, M. and Nogales, R. 2000b. Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown with olive cake mulches. *Soil Biology & Biochemistry.* 32:1829-1835.
- Benítez, E., Sainz, H., Melgar, R. and Nogales, R. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management and Research.* 20:134-142.
- Benítez, E., Melgar, R. and Nogales, R. 2004. Estimating soil resilience to toxic organic waste by measuring enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry.* 36:1615-1623.
- Benítez, E., Sainz, H. and Nogales, R. 2005. Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresourse Technology.* 96:785-790.

- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez, M., M. A. and Cegarra, J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 63:91-99.
- Bevacqua, R. F. and Mellado, V. J. 1993. Sewage sludge compost's cumulative effects on crop growth and soil properties. *Compost Science and Utilization*. 1(3):34 – 40.
- Bhattacharya, S. P., Benerjee, N. C., Das, D., Kumar, T. K. and Pal, T. K. 1997. Effect of leaves of new generation growth regulator "FA" on the growth and development of potato tuber. *Journal of Interacademia*. 1(2):105-109.
- Bremner, J. M. 1965. Organic forms of nitrogen. In *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agron. Monogr. 9. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp 1238 - 1255.
- Brundtland, G. H. 1987. Our common future. World Commission on Environmental and Development (WCED). Oxford University Press, Oxford. UK.
- Brunetti, G., Plaza, C. and Senesi, N. 2005. Olive pomace amendment in Mediterranean conditions: Effect on soil and humic acid properties and wheat (*Triticum turgidum* L.) yield. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:6730-6737.
- Cabrera, F., López, R., Martínez-Bordiú, A., Dupuy de Lome, E. and Murillo, J. M. 1996. Land treatment of olive oil mill wastewater. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 38:215-225.
- Cabrera, F., Martín-Olmedo, P., López, R. and Murillo, J. M. 2005. Nitrogen mineralization in soils amended with composted olive mill sludge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 71:249-258.
- Canet, R., Pomares, F., Cabot, B., Chaves, C., Ferrer, E. and Albiach, Ma. R. 2002. Composting as a management alternative for olive-mill pomace (alperujo) and other agricultural residues from South-Eastern Spain. In: Lowe, P. and Hudson, J A. (Eds.) *Proceedings of the joint CIWEM and Aqua Enviro Technology Transfer 7th European Biosolids and Organic Residuals Conference*. Vol. 1. November 2002. West Yorkshire, UK. Paper 47.
- Casa, R., D'Annibale, A., Pieruccetti, F., Stazi, S. R., Giovannozzi, S. G. and Lo Cascio, B. 2003. Reduction of the phenolic components in olive-mill wastewater by an enzymatic treatments and its impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germinability. *Chemosphere*. 50:959-966.
- Casenave, S. E., Argüello, J. A., Abdala, G. and Orioli, G. A. 1990. Content of auxin-, inhibitor and giberellin-like substances in humic acids. *Biol. Plant*. 32:346-351.

- Cayuela, M. L., Bernal, M. P. and Roig, A. 2004. Composting olive mill waste and sheep manure for orchard use. *Compost Science and Utilization*. 12(2):130-136.
- Cegarra, J., Albuquerque, J. A., González, J., Tortosa, G. and Chaw, D. 2006. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product ("alperujo") managed by mechanical turning. *Waste Management*. 26:1377 – 1383.
- Celik, I., Ortas, I. and Kilic, S. 2004. Effects of composts, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil & Tillage Research*. 78:59-67.
- Cesco, S., Römheld V., Varanini Z. and Pinton, R. 2000. Solubilization of iron by water-extractable humic substances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163:285-290.
- Cesco, S., Nikolic, M., Romheld, V., Varanini, Z. and Pinton, R. 2002. Uptake of ^{59}Fe from soluble ^{59}Fe -humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil* 241:121-128.
- Cimrin, K. M. and Ylmaz, I. 2005. Humic acids applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavia. Section B. Soil and Plant Science*. 55(1):58-63.
- Corbí, J. (1993). Extracciones de nutrientes por el cultivo de lechuga en riego localizado y por surcos. Trabajo Fin de Carrera. UPV-EUITA. Valencia.
- Cooper, R. J., Chunhua, L. and Fisher, D. S. 1998. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science*. 38:1639-1644.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M. and Ohno, T. 2003. Effects of earthworm cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 35:295-302.
- Chapman, H. D. and Pratt, F. B. 1961. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. Univ. of California. Agric. Sci. USA.
- Chen, Y. and Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. P 161-186. In P. MacCarthy et al. (ed.). *Humic substances in soil and crop science: selected readings*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Chen, Y., Chefetz, B. and Hadar, Y. 1996b. Formation and properties of humic substance originating from composts. *The Science of Composting*. 1:382-393.
- Chen, Y., Nobili, M. De N. and Aviad, T. 2004. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press LLC. p 103 – 129.

- Datta, A., Sanyal, S. K. and Saha, S. 2001. A study on natural and synthetic humic acids and their complexing ability towards cadmium. *Plant and Soil*. 235:115-125.
- David, P. P., Nelson, P. V. and Sánders, D. C. 1994. A humic acid improves growth of tomato seedlings in solution culture. *Journal of Plant Nutrition*. 17:173-184.
- Davies, L. C., Novalis, J. M. and Martins, D. S. 2004. Influence of salts and phenolic compounds on olive mill wastewater detoxification using superabsorbent polymers. 95:259-268.
- De Liñan, C. 2004. *Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales*. 20ª Edición. Ediciones Aerotécnicas, S. L. 687 p.
- Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L. and Del Campillo, Ma. C. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils attended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil*. 245:277-286.
- Delgado, A. Ma. M., Miralles, De I., H. R., Beltrán, B. L. y Martín, S. J. V. 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*. 20(2):83 – 86.
- Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E. and Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy Sustainable Development*. 25:183-191.
- Diver, S. 2002. Compost teas for plant disease control. ATTRA. Pest management technical notes. p 1-19.
- Dormar, J. F. 1975. Effects of humic substances from Chernozemic Ah horizons on nutrient uptake by *Phaseolus vulgaris* and *Festuca scabrella*. *Can. J. Soil Sci.* 55:111-118.
- Domínguez, J., Edwards, C. A. and Subler, S. A. 1997. Comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle*. 38:57-59.
- Doube, B. M. and Brown, G. G. 1998. Life in a complex community functional interaction between earthworms, organic matter, microorganisms and plants. In *Earthworm Ecology*. Edwards, C. A., Ed. St. Lucie Press: Boca Raton, FL., 179-212.
- EEA, 2007. Europe's environment. The fourth assessment. Sustainable consumption and production. European Environment Agency. Copenhagen. 452 p.
- Ehaliotis, C., Zervakis, G. I. and Karavitis, P. 2005. Residues and by-product of olive-oil mills for root-zone heating and plant nutrition in organic vegetable production. *Scientia Horticulturae*. 106:293-308.

- Evangelou, V. P. and Marsi, M. 2001. Composition and metal ion complexation behaviour of humic fractions derived from corn tissue. *Plant and Soil*. 229:13-24.
- FAO, 2003 - 2006. Terrastat. www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat
- Flynn, R. P., Wood, C. W. and Guertal, E. A. 1995. Lettuce response to composted broiler litter as a potting substrate component. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120 (6):964-970.
- Frederickson, J., Butt, K. R., Morris, R. M. and Daniel C. 1997. Combining vermiculture with traditional green waste composting systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3-4):725-730.
- García, G. A., Bernal, M. P. and Roig, A. 2003 a. Carbon mineralization and plant growth in soil amended with compost samples at different degrees of maturity. *Waste Management & Research* 21:161-171.
- García, G. A., Roig, A. and Bernal., M. P. 2003 b. Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresource Technology*. 86:59-64.
- Garg, P., Gupta, A. and Satya, S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*. 97:391-395.
- Gea, F. J., Navarro, M. J., Blanco, R., Avilés, M., Sinobas, J. y Tello, J. 2004. Actividad *In vitro* de extractos acuosos de composts de alperujos de olivo más cascarilla de arroz, orujo de vid y residuo industrial de corcho frente a *Verticillium fungicola*. En VI Congreso SEAE. II Congreso Iberoamericano de Agroecología. I Encuentro de estudiantes de Agroecología y agricultura Ecológica. Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios. SEAE. 27 de septiembre a 2 de octubre de 2004. Almería, Andalucía, España.
- Golueke, C. G. 1975. *Composting. A study of the process and its principles*. Rodale Press Emmaus.
- Goyal, S., Dhull, S. K. y Kapoor, K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 96:1584 – 1591.
- Gramss, G., Voigt, K. D. and Bergmann, H. 2003. Irrigation with plant extracts in ecofarming increases biomass production and mineral and organic nitrogen content of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 166(5):612-620.
- Gülser, F. 2005. Effects of ammonium sulphate and urea on NO_3^- and NO_2^- accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. *Scientia Horticulturae*. 106:330 – 340.

- Gupta, U. C. and Gupta, S. C. 1998. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(11-14):1491-1522.
- Guvenc, I., Dursun, A. and Turan, M. 1999. Effects of different foliar fertilizers on growth, yield and nutrient content of lettuce and crisp lettuce. *Acta Horticulturae.* 491:247-252.
- Hadrami El, A., Belaqziz, M., Hassni El., M., Hanifi, S., Abbad, A., Capasso, R., Gianfreda, L. and Hadrami El, I. 2004. Physico-chemical characterization and effects of olive oil mill wastewaters fertirrigation on the growth of some mediterranean crops. *Journal of Agronomy.* 3(4):247-254
- Hafidi, M., Amir, S. and Revel, J. C. 2005. Structural characterization of olive mill waste water after aerobic digestion using elemental analysis, FTIR and ^{13}C NMR. *Process Biochemistry.* 40(8):2615-2622.
- Harper, S. M., Kerven, G. L., Edwards, D. G. and Ostatek, B. Z. 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. *Soil Biology and Biochemistry.* 32:1331 – 1336.
- Hartwigsen, J. A. and Evans, M. R. 2000. Humic acid seed and substrate treatments promote seedling root development. *HortScience.* 35(7):1231-1233.
- Hashemimajd, K., kalbasi, M., Golchin, A. and Shariatmadari, H. 2004. Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition.* 27(6):1107-1123.
- Hassen, A., Belguith, K., Jeddi, N., Cherif, M. and Boudabous, A. 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology.* 80:217 – 225.
- Hayes, M. H. B. and Clapp, C. E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science.* 166(11):723-737.
- He, Z., Yang, X., Kahn, B. A., Stofella, P. J. y Calvert, D. V. 2005. Ventajas que supone la utilización de compost para la nutrición fosfórica, potásica, cálcica, magnésica y de micronutrientes. En: Stofella, P.J y Kahn, B. A. (Eds.) *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Capítulo 15 pp. 307-319.
- Hussain, G. Al-Jaloud, A. A. and Karimulla, S. 1996. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agricultural Water Management.* 30:175 – 184.
- Iglesias, J., E. and Pérez, G., V. 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agricultural Ecosystem and Environment.* 38:331-343.

- Jakse, M. and Mihelic, R. 1999. The influence of organic and mineral fertilisation on vegetable growth and N availability in soil: preliminary results. *Acta Horticulturae*. 506. CAB Abstract 1999.
- Janzen, R. A., Cook, F. D. and McGill, W. B. 1995. Compost extract added to microcosms may simulate community-level controls on soil microorganisms involved in element cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. 27(2):181-188.
- Jung, V., Olsson, E., Caspersen, S., Asp, H., Jensén, P. and Alsanius, B. W. 2003. Response of young hydroponically growth tomato plants to phenolic acids. *Scientia Horticulturae*. 100(2004):23-37.
- Keeling, A. A., McCallum, R. R. and Beckwith, C. P. 2003. Manure green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) trough the action of water extractable factors. *Bioresource Technology*. 90(2):127-132.
- Keller, H. and Romer, W. 2001. Cu, Zn and Cd acquisition by two spinach cultivars depending on P nutrition and root exudation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 164(6):335-342.
- Kiehl, E. J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Editorial Ceres Ltda. São Paulo, Brasil. 492 p.
- Komilis, D. P., Karatzas, E. and Halvadakis, C. P. 2005. The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pre-treatment techniques. 74:339-348.
- Kuwatsuka, S., Watanabe, A., Itho, K. and Arai, S. 1992. Comparison of two methods of preparation of humic and fulvic acids, IHSS method and Noagoya method. *Soil Science of Plant Nutrition*. 38(1):23 – 30.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agrosistemas. 2ª edición. Ediciones Mundi Prensa. 293 p.
- Labrador, M. J., García, M. A. y Fernández, P. 2001. Compostaje de alperujos. *Agricultura. Revista Agropecuaria*. 70(833):789-792.
- Lal, R. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*. 31 (4):575-584
- Lánderer, I., Cobacho, M., Ferrer, E., Calvet, S., Altarriba, E., Canet, R. y Pomares, F. 2002. Evaluación agronómica de enmiendas elaboradas mediante vermiestabilización de residuos orgánicos de origen agroalimentario y urbano. En Ramos, C. P y Márquez, M. Ma. C. (Eds.). *Avances en calidad ambiental*. Ediciones Universidad Salamanca. Junta de Castilla y León. P 369 – 374.

- Lara, F. A. 2000. Situación actual de los residuos líquidos de almazara, depuración y aprovechamiento integral. Proceedings Improlive 2000. p 47-64.
- Linderman, R. G. and Davis, E. A. 2001. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth response to soil amendment with composted grape pomace or its water extract. HortTechnology. 11(3):446-450.
- López, G. A. y Ramírez, G. R. 2002. Obtención de compost y extractos húmicos a partir de alperujos. Jornadas de Investigación y Transferencia de Tecnología Oleícola Andalucía 2002. pp. 227-231.
- Lulakis, M. D. and Petsas, S. I. 1995. Effect of humic substances from vine-canes mature compost on tomato seedling growth. Bioresource Technology. 54(2):179-182.
- MacRae, R. J. and Mehuys, G. R. 1985. Effect of organic matter on soil physical properties. In Advances in soil Science. Stewart, B. A. (Ed.). Springer Verlag. New York. p. 73-79.
- Madejón, E., Galli, E. and Tomati, U. 1998. Composting of wastes produced by low water consuming olive mill technology. Agrochimica. 42. p 173 – 183.
- Maftoun, M., Moshiri, F., Karimian, N. and Ronaghi, A. M. 2004. Effects of two organic wastes in combination with phosphorous on growth and chemical composition of spinach and soil properties. Journal of Plant Nutrition. 27(9):1635-1651.
- Maheswari, T. U., Haripriya, K. and Kamalakannan, S. 2003. Impact of foliar organic nutrients on nutrient uptake pattern of chilli (*Capsicum annuum* L.) cv. K2. South Indian Horticulture. 51(1/6):168-172.
- Maheswari, T. U., Haripriya, K., Poonkodi, P. and Kamalakannan, S. 2004. Effect of foliar application of organic nutrients on some quality indices and economics of chilli (*Capsicum annuum* L.). Advances in Plant Science. 17(1):259-262.
- Mantzavinos, D. and Kalogerakis, N. 2005. Treatment of olive mill effluents. Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes-an overview. Environment International. 31:289-295.
- MAPA 1994. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Madrid, España. 662 p.
- Maynard, A. A. 1994. Sustained vegetable production for three years using composted animal manures. Compost Science and Utilization. 2(1):88 – 96.
- Maynard, A. A. 1996. Cumulative effect of annual additions of undecomposed leaves and compost on the yield of field grown peppers. Compost Science and Utilization. 4(2):81 – 88.

- Maynard, D. N. and Hochmuth, G. J. 1997. Knott's Handbook for vegetable growers. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. p 85.
- Mitova, I. and Stancheva, I. 2003. Far-reaching effects of increasing rates of the organic and mineral nitrogen fertilizers on the yield and some quality parameters in spinach. Ecology and Future Bulgarian Journal of Ecological Science. 2(3/4):99-100. CAB Abstracts 2004-2005.
- Mohamed, A. A., Agnolon, F., Cesco, S., Varanini, Z. and Pinton. 1998. Incidence of lime-induced chlorosis: plant response mechanisms and role of water soluble humic substances. Agrochimica. XLII(6):255-262.
- Molina, A. E., Yáñez, R. D., Moumen, A. and Martín, G. I. 2003. Chemical composition and nitrogen availability for goats and sheep of some olive by-products. Small Ruminant Research. 49:329-336.
- Montesinos, G. M., Martínez, J. J., Valdéz, F., Giner, J. y Fernández, M. 1997. Aplicación de ácidos húmicos y vinaza en riego por goteo: efectos en el suelo (bulbo). I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación. p 641 – 646.
- Moreno, C. J. 2005. Reutilización y valoración de la materia orgánica residual de origen agrícola. En Tecnologías aplicables a la reutilización de los residuos orgánicos, agrícolas o alimentarios. Navarro, G. M y Bustillos, N. J. M. (coordinadores). Cursos de verano 2005. Universidad de Burgos. P 39 – 60.
- Moreno, R., Benítez, E., Melgar, R., Polo, A., Gómez, M. and Nogales, R. 2000. Vermicomposting as an alternative for reusing by-products from the olive oil industry. Fresenius Environmental Bulletin. 9(1-2):1 - 8.
- Nárdi, S., Panuccio M. R., Abenovoli, M. R. and Muscolo, A. 1994. Auxin like effect of humic substances extracted from faeces of *Allolobophora caliginosa* and *A. rosea*. Soil Biol. Biochem. 26, 1341-1346.
- Nikolic, M., Cesco, S., Römheld, V., Varanini, Z. and Pinton, R. 2003. Uptake of Iron (^{59}Fe) complexed to water-extractable humic substances by sunflower leaves. Journal of Plant Nutrition. 26(10 & 11).2243-2253.
- Nogales, R., Melgar, R., Guerrero, A., Lozada, G., Benitez, E., Thompson, R., and Gómez, M. 1999. Growth and reproduction of *Einsenía andrei* in dry olive cake mixed with other organic wastes. Pedobiologie. 43:744-752.
- Nogales, R., Alvarez, H., Fernández, M. L., Cifuentes, C. y Gomez, M. 2004. Efectividad de diferentes enmiendas orgánicas oleícolas para suministrar nitrógeno a un cultivo de guisante. En VI Congreso SEAE. II Congreso Iberoamericano de Agroecología. I Encuentro de estudiantes de Agroecología y agricultura Ecológica. Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios. SEAE. 27 de septiembre a 2 de octubre de 2004. Almería, Andalucía, España.

- Nogales, V. M. R. 2005. Gestión de residuos de la industria agroalimentaria. En Tecnologías aplicables a la reutilización de los residuos orgánicos, agrícolas o alimentarios. Navarro, G. M y Bustillos, N. J. M. (coordinadores). Cursos de verano 2005. Universidad de Burgos. p 101 – 114.
- Obreza, T. A. and Reeder, R. K. 1994. Municipal solid waste compost use in tomato/watermelon successional cropping. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings. 53:13 – 19.
- Ofori, J., Kamidouzono, A., Masunaga, T. and Wakatsuki, T. 2005. Organic amendment and soil type effects on dry matter accumulation, grain yield, and nitrogen use efficiency of rice. Journal of Plant Nutrition. 28:1311 – 1322.
- Ordoñez, R., González, P., Giráldez, J. V. y García, O. A. 1999. Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola. En Estudios de la zona no saturada del suelo IV Jornadas de Investigación en la zona no saturada, Valle Guerra, Tenerife, 3-5 de Noviembre de 1999. ICIA, La Laguna España. p 123-126.
- Pandeya, S. B., Singh, A. K. and Dhar, P. 1998. Influence of fulvic acid on transport of iron in soils and uptake by paddy seedlings. Plant and Soil. 198:117-125.
- Papafotiou, M., Phsyhalou, M., Kargas, G., Chatzipavlidis, I. and Chronopoulos, J. 2004. Olive-mill wastes compost as growing medium component for the production of poinsettia. Scientia Horticulturae. 102:167-175.
- Paredes, C., Cegarra, J., Roig, A., Sánchez-Monedero, M. A. and Bernal. M. P. 1999. Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes. Bioresource Technology. 67:111-115.
- Paredes, C., Cegarra, J., Bernal, M. P. and Roig, A. 2005. Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. Environmental Internacional. 32(2005):305-312.
- Paul, E. A. and Clark, F. E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. San Diego. 2ª Edición.
- Peavy, W. S. and Greig, J. K. 1972. Organic and mineral fertilizers compared by yield, quality and composition of spinach. Journal of the American Society for Horticultural Science. 97(6):718 – 723.
- Pérez, J., Muñoz, D. J., De la Rubia, T. y Martínez, J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An overview. Int. Microbiol. 5:53-63.

- Pérez, C. R., González, J. L., Benítez, C. y Valero, E. 2005. Evolución de polifenoles en un suelo tras la aplicación de orujos de aceituna de dos fases. *Residuos*. 85:54-58.
- Piccolo, A., Celano, G. and Pietramellara, G. 1993. Effects of fractions of coal-derived humic substances on seed germination and growth of seedlings (*Lactuca sativa* and *Lycopersicum esculentum*). *Biology and Fertility of Soils*. 16(1):11-15
- Pinamonti, F. y Sicher, L. 2005. Utilización de los composts en los sistemas de producción frutal. En Stofella, P. J. y Kahn, B. A. (Eds). Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. pp 177 – 199.
- Pinton, R., Stefano, C., Lacoletting, G. Astolin, S. and Varanini, Z. 1999a. Modulation of NO_3^- uptake by water extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H^+ ATPase. *Plant and Soil*. 215:155-161.
- Pinton, R., Cesco, S., Santi, S., Agnolon, F. and Varanini, Z. 1999b. Water extractable humic substances enhance iron deficiency responses by Fe deficient cucumber plants. *Plant and Soil*. 210:145-157.
- Pomares, G. F. 2004. Elaboración de programas de fertirrigación en cultivos hortícolas al aire libre. Resultados de experiencias. En I Congreso Internacional de horticultura intensiva. Fundación Ruralcaja. 2 y 3 de diciembre de 2004. Valencia, España.
- Pomares, G. F. 2008. La fertilización y la fertirrigación, programas de nutrición, influencia sobre la programación. *Actas de Horticultura*. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. p 133 – 143.
- Pomares, G. F. y Albiach, R. 2005. Los residuos agrícolas y agroindustriales como soportes de producción en agricultura intensiva. En Tecnologías aplicables a la reutilización de los residuos orgánicos, agrícolas o alimentarios. Navarro, G. M. y Bustillo, N. J. M. (coordinadores). Curso de verano 2005. Universidad de Burgos. p 167 – 187.
- Pomares, G. F., Baixauli, C., Aguilar, J. M., Giner, A., Núñez, A., Bartual, R., Tarazona, F., Estela, M. and Albiach, R. 2005. Efectos de las enmiendas orgánicas sólidas en col china. Memoria de actividades. Resultados de ensayos hortícolas. Fundación Ruralcaja. Generalitat Valenciana. p 393 - 394.
- Pomares, G. F., Baixauli, C., Aguilar, J. M., Giner, A., Núñez, A., Bartual, R., Tarazona, F., Estela, M. and Albiach, R. 2006. Efecto de las materias orgánicas líquidas en alcachofa de semilla y sandía mini. Memoria de actividades. Resultados de ensayos hortícolas. Fundación Ruralcaja. Generalitat Valenciana. p 354 - 357.

- Pomares, G. F., Baixauli, C., Aguilar, J. M., Giner, A., Tarazona, F., Estela, M. and Albiach, R. 2007. Efecto de las materias orgánicas líquidas en aplicación foliar sobre coliflor. Memoria de actividades. Resultados de ensayos hortícolas. Fundación Ruralcaja. Generalitat Valenciana (en prensa).
- Porta, C. J., López, A. R. y Roquero, De L. C. 2003. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. 3ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 929 p.
- Quaggiotti, S., Ruperti, B., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tugnoli, V. and Nardi, S. 2004. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*. 55(398):803-813.
- Rangel, Z., Batten, G. D. and Crowley, D. E. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research*. 60:27 – 40.
- Rashid, A, and Ryan, J. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with mediterranean-type characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition*. 27(6):959-975.
- Rees, R. M., Ball, B. and Watson, C. 2001. Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing. 460 p.
- Rice, J. A. 2001. Humin. *Soil Science*. 166(11):848-857.
- Rincón, L., Balsalobre, E., Sáez, J. y Madrid, R. 1991. Extracción de macronutrientes en cultivo de lechuga Iceberg. En: Actas del II Congreso nacional de Fertirrigación. 213 – 220. Almería, FIAPA. SECH.
- Roig, A., Lax, A., Cegarra, J., Costa, F. and Hernández, M. T. 1998. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. *Soil Science*. 146:311-316.
- Roig, A., Cayuela, M. L. and Sánchez, M. M. A. 2004. The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. *Chemosphere*. 57:1099 – 1105.
- Roig, A., Cayuela, M. L. and Sánchez, M. M. A. 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*. 26:960-969.
- Ros, M., Hernández, M. T. and García, C. 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry*. 35:463-469.

- Rynk, R. y Richard, T. L. 2005. Sistemas de producción comercial de compost. En Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Stofella, P. J. y Kahn, B. A. (eds.). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p 51 – 93.
- Sainz, H., Benítez, E., Melgar, R. Álvarez, R, Gómez, M. y Nogales, R. 2000. Biotransformación y valorización agrícola de subproductos del olivar orujos secos y extractados mediante vermicompostaje. *Edafología*. 72(2):103-111.
- Sainz, M. J., Tabeada – Castro, M. T. and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil attended with composted urban wastes. *Plan and Soil*. 2005:85-95.
- Sánchez, M. M. A., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M. P. and Paredes, C. 2002. Effects of HCl – HF purification treatment on chemical composition and structure of humic acids. *European Journal of Soil Science*. 53:375 – 381.
- Saavedra, M., Cifuentes, C., Romero, E., Benítez, E., Polo, A. y Nogales, R. 2004. Efectividad de las lombrices y hongos para biotransformar alperujos en abonos orgánicos. En VI Congreso SEAE. II Congreso Iberoamericano de Agroecología. I Encuentro de estudiantes de Agroecología y agricultura Ecológica. Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios. SEAE. 27 de septiembre a 2 de octubre de 2004. Almería, Andalucía, España.
- Saavedra, M., Benítez, E., Cifuentes, C. and Nogales, R. 2006. Enzyme activities and chemical changes in wet olive cake after treatment with *Pleurotus ostreatus* or *Eisenia fetida*. *Biodegradation*. 17:93-102.
- Schnitzer, M. 2000. A life time perspective on the chemistry of soil organic matter. In: Sparks, D. L. (Ed). *Advances in Agronomy*. Volume 68. Academic Press N. Y. pp 3-59.
- Seginer, I. 2003. A dynamic model for Nitrogen-stressed lettuce. *Annals of Botany*. 91:623-625.
- Serna, M. D. and Pomares, F. 1991. Comparison of biological and chemical methods to predict N mineralization in animal wastes. *Biol. Fertil. Soils*. 12:89 – 94.
- Shiralipour, A., Faber, B. and Chrowstowski, M. 1996. Greenhouse broccoli and lettuce growth using co-composted biosolids. *Compost Science and Utilization*. 4(3):38 – 43.
- Sierra, J., Martí, E., Montserrat, G., Cruñas, R. and Garau, M. A. 2001. Characterization and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal. *The Science of the Total Environment*. 279:207-214.

- Sims, J. T. 1990. Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*. 19. pp. 669-675.
- Singh, A. and Sharma, S. 2002. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*. 85(2):107-111.
- Sladky, Z. 1959. The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. *Biol. Plant*. 1:142-150.
- Sladky, Z. 1965. Anatomic and physiological alterations in sugar beet receiving foliar applications of humic substances. *Biol. Plant*. 7:251-260.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Conte, P., Haberhauer, G. and Gerzabek, M. H. 2002. Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1839-1851.
- Stevenson, F. J. 1994. Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Stoffella, P. J. and Graetz, D. A. 1997. Sugarcane filtercake compost influence on tomato emergence, seedling growth and yields. p 1351 – 1356. In: M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and Papi, T. (Eds). *The Science of Composting Part 2*. Blackie academic and Professional, London, United Kingdom.
- Suleiman, S., Wilson, C. and Grieve, C. M. 2002. Effect of salinity and exogenously applied polyamines on growth and ion relations in spinach. *Journal of Plant Nutrition*. 25(12):2705-2717.
- Sullivan, D. M. y Miller, R. O. 2005. Propiedades cualitativas, medición y variabilidad de los composts. En Stoffella, P. J. y Kahn, B. A. (Eds). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. pp 95 – 119.
- Tejada, M., Ordoñez, C. and Gonzalez, J. L. 2001. Utilization of a by-product of the two-step olive oil mill process on wheat under dry land conditions. *Agrochimica*. 45(5-6):199-206.
- Tejada, M. and González, J. L. 2003 a. Application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on rice yield. *Agrochimica* 47(3-4):94-102.
- Tejada, M. and González, J. L. 2003 b. Effect of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. *Agronomie* 23:617-623.

- Tejada, M. and González, J. L. 2004 a. Effect of application of a by-product of the two-step olive oil mill process on maize yield. *Agronomy Journal*. 96:692-699.
- Tejada, M. and González, J. L. 2004 b. Effect of foliar application of a by-product of the two-step olive oil mill process on rice yield. *Europ. J. Agronomy*. 21:31-40.
- Tufenkci, S., Turkmen, O., Sonmez, F., Erdinc, C. and Sensoy, S. 2006. Effect of humic acids doses and application times on the plant growth, nutrient and heavy metal contents of lettuce grown on sewage sludge-applied. *Fresenius Environmental Bulletin*. 15(4):295-300.
- Tuomela, M., Vikman, M., Ataca, A. and Itävaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*. 72:169 – 183.
- Valdrighi, M. M., Pera, A., Agnolucci, M., Frassinetti, S., Lunardi, D. and Vallini, G. 1996. Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium intybus*)-soil system: a comparative study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 58(1996):133-144.
- Varanini, Z., Pinton, R., De Biasi, M. G., Astolfi, S. and Maggioni A. 1993. Low molecular weight humic substances stimulate H⁺-ATPase activity of plasma membrane vesicles insolated from oat (*Avena sativa* L) roots. *Plant and Soil*. 153. 61-69.
- Varanini, Z. and Pinton, R. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In Pinton, R., Zenon, V. and Nannipieri, P. *The rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. Marcel Dekker, Inc. New York. p 141 – 157.
- Villaescusa, J. 2004. Supresividad *In vitro* de la microbiota fúngica de varios composts frente a patógenos de suelo. En VI Congreso SEAE. II Congreso Iberoamericano de Agroecología. I Encuentro de estudiantes de Agroecología y Agricultura Ecológica. Agroecología: Referente para la transición de los sistemas agrarios. SEAE. 27 de septiembre a 2 de octubre de 2004. Almería, Andalucía, España.
- Vinceslas-Akpa, M. and Loquet, M. 1997. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia fetida* Andrei): chemical analisis and 13C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*. 29:751-758.
- Vlyssides, A. G., Loizides, M. and Karlis, P. K. 2004. Integrated stratgic approach for reusing olive oil extraction by-products. *Journal of Cleaner Production*. 12(6):603 – 611.

- Walke, S. E. 2001. Effectiveness of compost tea extracts as disease suppressants in fresh market crops. NOOA. OFRF. Information Bulletin No. 9 pp. 16-20. USA.
- Walke, S. E. 2004. The effect of compost extract on the yield of strawberries and the severity of *Botrytis cinerea*. Journal of Sustainable Agriculture. 25(1):57-68.
- Walker, D. J. and Bernal, M. P. 2004. Plant nutrition and growth in saline Mediterranean soil amended with organic wastes. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 35(17/18):2495-2514.
- Wójcik, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization (Review). Orchard Management in Sustainable Fruit Production. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.12:201-218.
- Wu, L. and Ma, L. Q. 2002. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. Journal of the Environmental Quality 31:1323-1328.
- Woese, K., Lange, D., Boess, C. And Bögl, K. 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. J. Sci. Food Agric. 74:281 – 293.
- Worthington, V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables and grains. The Journal of Alternative and Complementary Medicine. 7(2):161 – 173.
- Yagi, R., Ferreira, M. E., Pessôa da C., M. C. and Barbosa, J. C. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. Scientia Agricola. 60(3):549-557.
- Young, C. C. and Chen, L. F. 1997. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. Plant and Soil. 195:143-149.
- Zachariankis, M., Tzorakakis, E., Kritsotakis, I., Siminis, C. I. and Manios, V. 2001. Humic substances stimulate plant growth and nutrient accumulation in grapevine rootstocks. Acta Horticulturae. 549.
- Zhang, X. and Schmidt, R. E. 1999. Antioxidant response to hormone containing product in Kentucky bluegrass subjected to drought. Crop Science. 39:545-551.
- Zucconi, F. and De Bertoldi, M. 1986. Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural use. In Wise, D. L. (Ed.) 1986. Global bioconversions. Vol. 3. CRC Press. Boca Raton, Fl. pp 109 – 137.
- Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A. and De Bertoldi, M. 1981. Biological evaluation of compost maturity. BioCycle. 22:27 – 29.

ANEJOS

Anejo I. Enmiendas orgánicas y tipos de composts según límite máximo de metales pesados

Características	Compost ^{1 y 3/} Producto higienizado y estabilizado obtenido mediante descomposición biológica aeróbica de materiales orgánicos biodegradables, bajo condiciones controladas		Compost vegetal ^{3/} Exclusivamente de hojas, hierba cortada y restos vegetales o de poda	Compost de estiércol ^{3/} Exclusivamente de estiércol	Vermicompost ^{3/} Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices bajo condiciones controladas.
	Clase de composts ^{2/}				
	Clase A	Clase B			
Materia orgánica total (%)	40	35	40	35	40%
Humedad máxima (%)	30 - 40	30 - 40	30 y 40	30 y 40	30 y 40 %
Relación C/N	< 15	< 15	< 15	< 15	<20
Tamaño de partículas	Piedras y grabas > 5mm menos de 5%	Partículas menores de 25 mm sobre 90%	No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo	No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo	Partículas menores de 25 mm sobre 90%
Metales pesados (mg/kg en peso seco)	Metales, vidrios, plásticos > 2 mm menos de 0,5%	Metales, vidrios y plásticos > 2 mm menos del 3%	Clases de composts ^{3/}		
			Clase A	Clase B	Clase C
Cd	0,7	1,5	0,7	2	3
Cu	100	150	70	300	400
Ni	50	75	25	90	100
Pb	100	150	45	150	200
Hg	0,5	1	0,4	1,5	2,5
Cr	100	150	70	250	300
Zn	200	400	200	500	1.000

^{1 y 2/} Normativa Europea, 2001. ^{1 y 3/} Normativa española Real Decreto 824/2005 de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Anejo I grupo 4 y Anejo V. Clases A, B y C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de los valores de la columna correspondiente. Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año. Deberán también considerarse los límites máximos establecidos de patógenos y microorganismos nocivos. En todas las enmiendas indicadas deben además declararse y garantizarse los contenidos de: materia orgánica total, carbono orgánico, N total, orgánico, y amoniacal (si superan individualmente el 1%), P₂O₅ total y K₂O total (si superan el 1%), ácidos húmicos y granulometría

Anejo II. Características del agua utilizada en las experiencias

Parámetros		Valores
pH		8,09
Conductividad eléctrica	(mS/m)	0,71
Nitratos	(mg/L)	30,3
Sulfatos	(mg/L)	3,98
Carbonatos	(mg/L)	0,89
Bicarbonatos	(mg/L)	2,56
Cloruros	(mg/L)	70,1

Datos promedio de tres muestras cada 15 días durante el desarrollo de las experiencias. Para realizar las determinaciones analíticas se siguieron las metodologías establecidas en los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994)

Anejo IIIa. Coeficientes de correlación entre los nutrientes aplicados y el contenido de nutrientes en las hojas de lechuga en los experimentos 1 y 2

Contenido	Experimento 1 Aplicado al suelo								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
N	0,18 NS	0,15 NS	0,15 NS	-0,60 *	-0,59 *	-0,59 *	-0,37 *	-0,36 *	-0,61 *
P	0,10 NS	0,10 NS	0,10 NS	-0,29 *	-0,33 *	-0,33 *	-0,09 NS	-0,09 NS	-0,31 *
K	0,10 NS	-0,11 NS	-0,11 NS	0,25 NS	0,17 NS	0,15 NS	0,28 *	0,28 *	0,23 NS
Ca	0,10 NS	0,07 NS	0,07 NS	0,20 NS	0,22 NS	0,22 NS	0,09 NS	0,09 NS	0,21 NS
Mg	0,05 NS	0,05 NS	0,05 NS	-0,62 *	-0,66 *	-0,66 *	-0,30 *	-0,30 *	-0,64 *
Cu	0,37 *	0,17 NS	0,17 NS	-0,07 NS	-0,01 NS	0,00 NS	-0,12 NS	-0,12 NS	-0,05 NS
Mn	0,05 NS	-0,05 NS	-0,05 NS	0,18 NS	0,15 NS	0,15 NS	0,15 NS	0,15 NS	0,18 NS
Fe	0,20 NS	-0,05 NS	-0,05 NS	0,15 NS	0,17 NS	0,18 NS	0,06 NS	0,06 NS	0,16 NS
Zn	0,27 NS	0,24 NS	0,24 NS	-0,31 *	-0,23 NS	-0,21 NS	-0,30 *	-0,30 *	-0,29 *
Contenido	Experimento 2								
N	-0,64 *	-0,72 *	-0,73 *	-0,53 *	-0,73 *	-0,73 *	0,20 NS	0,19 NS	-0,62 *
P	0,72 *	0,69 *	0,66 *	0,72 *	0,67 *	0,66 *	0,25 NS	0,26 NS	0,73 *
K	-0,06 NS	-0,05 NS	-0,10 NS	0,05 NS	-0,06 NS	-0,10 NS	0,16 NS	0,17 NS	0,00 NS
Ca	0,04 NS	-0,04 NS	-0,06 NS	0,12 NS	-0,06 NS	-0,06 NS	0,33 NS	0,33 NS	0,06 NS
Mg	-0,29 NS	-0,36 NS	-0,37 *	-0,19 NS	-0,37 *	-0,37 *	0,24 NS	0,24 NS	-0,26 NS
Cu	0,09 NS	-0,02 NS	-0,07 NS	0,24 NS	-0,05 NS	-0,07 NS	0,54 *	0,54 *	0,14 NS
Mn	0,39 *	0,27 NS	0,22 NS	0,54 *	0,24 NS	0,22 NS	0,63 *	0,63 *	0,45 *
Fe	0,47 *	0,44 *	0,39 *	0,57 *	0,43 *	0,39 *	0,37 *	0,38 *	0,53 *
Zn	0,19 NS	0,02 NS	-0,01 NS	0,33 NS	-0,02 NS	-0,01 NS	0,66 *	0,66 *	0,22 NS

Coeficientes de correlación *: significativos o NS: no significativos entre nutrientes con $p < 0,05\%$, $n = 51$ en el experimento 1 y $n = 30$ en el experimento 2 por cada nutriente

Anejo IIIb. Coeficientes de correlación entre la aplicación de nutrientes al suelo y la absorción de nutrientes en la lechuga en los experimentos 1 y 2

Absorción	Experimento 1 Aplicado al suelo								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
N	0,11 NS	0,09 NS	0,09 NS	-0,64 *	-0,67 *	-0,67 *	-0,34 *	-0,34 *	-0,66 *
P	-0,01 NS	0,04 NS	0,04 NS	-0,61 *	-0,68 *	-0,67 *	-0,26 *	-0,26 *	-0,64 *
K	0,00 NS	-0,14 NS	-0,14 NS	-0,32 *	-0,45 *	-0,47 *	0,00 NS	0,00 NS	-0,38 *
Ca	-0,08 NS	0,03 NS	0,03 NS	-0,52 *	-0,56 *	-0,56 *	-0,24 *	-0,24 *	-0,54 *
Mg	0,01 NS	0,04 NS	0,04 NS	-0,66 *	-0,71 *	-0,71 *	-0,31 *	-0,31 *	-0,69 *
Cu	0,21 *	0,12 NS	0,12 NS	-0,48 *	-0,48 *	-0,48 *	-0,28 *	-0,28 *	-0,49 *
Mn	-0,09 NS	-0,03 NS	-0,03 NS	-0,51 *	-0,57 *	-0,58 *	-0,21 *	-0,21 *	-0,55 *
Fe	0,09 NS	0,02 NS	0,02 NS	-0,38 *	-0,41 *	-0,40 *	-0,18 NS	-0,18 NS	-0,40 *
Zn	0,13 NS	0,15 NS	0,15 NS	-0,57 *	-0,56 *	-0,55 *	-0,35 *	-0,35 *	-0,58 *
Absorción	Experimento 2								
N	-0,57 *	-0,41 *	-0,35 *	-0,73 *	-0,36 *	-0,35 *	-0,78 *	-0,78 *	-0,62 *
P	0,58 *	0,73 *	0,77 *	0,38 *	0,76 *	0,76 *	-0,53 *	-0,52 *	0,53 *
K	-0,24 NS	-0,05 NS	-0,03 NS	-0,34 *	0,00 NS	-0,03 NS	-0,65 *	-0,64 *	-0,24 NS
Ca	-0,21 NS	-0,04 NS	0,03 NS	-0,41 *	0,01 NS	0,02 NS	-0,79 *	-0,79 *	-0,28 *
Mg	-0,53 *	-0,41 *	-0,36 *	-0,64 *	-0,37 *	-0,37 *	-0,60 *	-0,60 *	-0,57 *
Cu	-0,45 *	-0,30 *	-0,26 *	-0,57 *	-0,26 *	-0,26 *	-0,65 *	-0,65 *	-0,48 *
Mn	0,02 NS	0,20 NS	0,24 NS	-0,15 NS	0,24 NS	0,23 NS	-0,68 *	-0,67 *	-0,02 NS
Fe	0,33 *	0,48 *	0,49 *	0,23 NS	0,52 *	0,49 *	-0,43 *	-0,42 *	0,33 *
Zn	-0,10 NS	0,00 NS	0,07 NS	-0,30 *	0,03 NS	0,07 NS	-0,60 *	-0,61 *	-0,19 NS

Coeficientes de correlación *: significativos o NS: no significativos entre nutrientes con $p < 0,05\%$, $n = 102$ en el experimento 1 y $n = 60$ en el experimento 2 por cada nutriente

Anejo IVa. Coeficientes de correlación entre los nutrientes aplicados al suelo y el contenido de nutrientes en las plantas de lechuga y espinaca en el experimento 3

Contenido	Lechuga Aplicado al suelo								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
N	0,26 NS	0,18 NS	0,33 *	0,27 NS	0,25 NS	0,27 NS	0,22 NS	0,23 NS	0,18 NS
P	0,11 NS	-0,03 NS	0,30 *	0,14 NS	0,10 NS	0,14 NS	0,03 NS	0,05 NS	-0,04 NS
K	-0,78 *	-0,63 *	-0,88 *	-0,80 *	-0,77 *	-0,81 *	-0,70 *	-0,72 *	-0,61 *
Ca	0,12 NS	0,09 NS	0,15 NS	0,13 NS	0,12 NS	0,13 NS	0,11 NS	0,11 NS	0,09 NS
Mg	-0,08 NS	-0,05 NS	-0,11 NS	-0,08 NS	-0,08 NS	-0,09 NS	-0,06 NS	-0,07 NS	-0,05 NS
Cu	-0,07 NS	-0,01 NS	-0,15 NS	-0,08 NS	-0,07 NS	-0,08 NS	-0,04 NS	-0,05 NS	-0,01 NS
Mn	-0,19 NS	-0,20 NS	-0,14 NS	-0,18 NS	-0,19 NS	-0,18 NS	-0,19 NS	-0,19 NS	-0,20 NS
Fe	-0,39 *	-0,39 *	-0,33 *	-0,39 *	-0,39 *	-0,39 *	-0,40 *	-0,40 *	-0,39 *
Zn	-0,43 *	-0,31 *	-0,53 *	-0,44 *	-0,41 *	-0,45 *	-0,36 *	-0,38 *	-0,30 *
Contenido	Espinaca								
N	0,52 *	0,69 *	0,21 NS	0,49 *	0,54 *	0,48 *	0,62 *	0,61 *	0,70 *
P	0,70 *	0,79 *	0,46 *	0,67 *	0,71 *	0,67 *	0,76 *	0,75 *	0,80 *
K	0,66 *	0,61 *	0,62 *	0,66 *	0,65 *	0,66 *	0,64 *	0,64 *	0,60 *
Ca	-0,22 NS	0,04 NS	-0,55 *	-0,26 NS	-0,19 NS	-0,27 NS	-0,07 NS	-0,10 NS	0,06 NS
Mg	-0,67 *	-0,45 *	-0,86 *	-0,70 *	-0,64 *	-0,70 *	-0,55 *	-0,57 *	-0,44 *
Cu	0,01 NS	-0,05 NS	0,10 NS	0,02 NS	0,00 NS	0,02 NS	-0,02 NS	-0,02 NS	-0,05 NS
Mn	-0,84 *	-0,81 *	-0,75 *	-0,84 *	-0,84 *	-0,84 *	-0,83 *	-0,84 *	-0,81 *
Fe	0,08 NS	0,25 NS	-0,16 NS	0,06 NS	0,10 NS	0,05 NS	0,18 NS	0,16 NS	0,26 NS
Zn	0,12 NS	0,14 NS	0,08 NS	0,12 NS	0,12 NS	0,12 NS	0,13 NS	0,13 NS	0,14 NS

Coeficientes de correlación *: significativos o NS: no significativos entre nutrientes con $p < 0,05\%$, $n = 45$ en el experimento 1 y $n = 30$ en el experimento 2 por cada nutriente

Anejo IVb. Coeficientes de correlación entre los nutrientes aplicados al suelo y la absorción de nutrientes por las plantas de lechuga y espinaca en el experimento 3

Absorción	Lechuga Aplicado al suelo								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
N	0,38 *	0,38 *	0,32 NS	0,38 *	0,38 *	0,38 *	0,39 *	0,39 *	0,38 *
P	0,37 *	0,26 NS	0,46 *	0,38 *	0,36 NS	0,39 *	0,31 NS	0,32 NS	0,25 NS
K	-0,17 NS	-0,04 NS	-0,32 NS	-0,19 NS	-0,15 NS	-0,19 NS	-0,09 NS	-0,11 NS	-0,03 NS
Ca	0,40 *	0,41 *	0,32 NS	0,39 *	0,40 *	0,39 *	0,41 *	0,41 *	0,41 *
Mg	0,23 NS	0,31 NS	0,10 NS	0,22 NS	0,24 NS	0,22 NS	0,28 NS	0,27 NS	0,31 NS
Cu	0,14 NS	0,22 NS	0,01 NS	0,13 NS	0,15 NS	0,12 NS	0,19 NS	0,18 NS	0,23 NS
Mn	0,12 NS	0,15 NS	0,06 NS	0,11 NS	0,12 NS	0,11 NS	0,14 NS	0,13 NS	0,15 NS
Fe	-0,33 NS	-0,28 NS	-0,34 NS	-0,33 NS	-0,32 NS	-0,33 NS	-0,30 NS	-0,31 NS	-0,28 NS
Zn	-0,17 NS	-0,02 NS	-0,34 NS	-0,19 NS	-0,15 NS	-0,19 NS	-0,08 NS	-0,10 NS	-0,01 NS
Absorción	Espinaca								
N	-0,04 NS	-0,26 NS	0,25 NS	-0,01 NS	-0,07 NS	0,00 NS	-0,17 NS	-0,14 NS	-0,27 NS
P	0,19 NS	0,02 NS	0,39 *	0,21 NS	0,17 NS	0,22 NS	0,10 NS	0,11 NS	0,01 NS
K	-0,03 NS	-0,25 NS	0,27 NS	0,00 NS	-0,06 NS	0,01 NS	-0,16 NS	-0,14 NS	-0,26 NS
Ca	-0,29 NS	-0,40 *	-0,09 NS	-0,27 NS	-0,31 NS	-0,27 NS	-0,36 NS	-0,35 NS	-0,41 *
Mg	-0,44 *	-0,57 *	-0,20 NS	-0,42 *	-0,46 *	-0,42 *	-0,53 *	-0,51 *	-0,58 *
Cu	-0,14 NS	-0,37 *	0,19 NS	-0,10 NS	-0,17 NS	-0,10 NS	-0,28 NS	-0,25 NS	-0,38 *
Mn	-0,57 *	-0,67 *	-0,36 NS	-0,55 *	-0,59 *	-0,55 *	-0,63 *	-0,62 *	-0,67 *
Fe	-0,39 *	-0,47 *	-0,21 NS	-0,37 *	-0,40 *	-0,36 *	-0,44 *	-0,43 *	-0,48 *
Zn	-0,08 NS	-0,22 NS	0,12 NS	-0,06 NS	-0,10 NS	-0,05 NS	-0,16 NS	-0,15 NS	-0,23 NS

Coeficientes de correlación *: significativos o NS: no significativos entre nutrientes con $p < 0,05\%$, $n = 30$ por cada nutriente