

**Universidad Pública de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FERTILIZANTES ORGANICOS E  
INORGANICOS A CORTO PLAZO EN CULTIVO DE LECHUGA Y ESPINACA**

presentado por

**EDUARDO GANUZA LARUMBE-*k***

*aurkeztua*

**INGENIERO AGRONOMO  
NEKAZARITZA INGENIARITZA**

Marzo, 2014 / 2014, *Martxoa*



## RESUMEN

### **Título: Disponibilidad de nutrientes en fertilizantes orgánicos e inorgánicos a corto plazo en cultivo de lechuga y espinaca.**

Alumno: Eduardo Ganuza Larumbe

Los problemas medioambientales derivados del uso de fertilizantes minerales unidos al continuo aumento de su precio han provocado un creciente interés por los fertilizantes orgánicos. Este tipo de fertilizantes, que además de nutrientes, aporta materia orgánica necesaria para el funcionamiento del ecosistema del suelo, se elaboran a partir de residuos orgánicos biodegradables. Sin embargo, a pesar de las ventajas que ofrecen existe un desconocimiento sobre como cubrir las necesidades de un cultivo usando fertilizantes orgánicos. Algo que no ocurre con los fertilizantes inorgánicos donde existen recomendaciones de abonado para distintos cultivos, suelos y climas.

El objetivo de este TFC es comparar la disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno, en fertilizantes orgánicos e inorgánicos a corto plazo en cultivo de lechuga y espinaca.

Para ello se realizaron dos ensayos en invernadero, en los que se cultivaron dos especies en maceta: lechuga (*Lactuca sativa L.*) y espinaca (*Spinacia oleracea L.*), para evaluar la idoneidad como fertilizantes de siete abonos orgánicos (cuatro compost domésticos y tres compost comerciales), y un fertilizante mineral (nitrato potásico). Cada abono se aplicó en tres dosis diferentes equivalentes a la aplicación de 50, 300 y 900 Kg N / ha.

Se determinaron los efectos de los abonos en términos de producción, eficiencia en la utilización de nutrientes y calidad del cultivo (coloración, nitrato y la acumulación de metales pesados). Además se añadieron otros 7 tratamientos en los que la dosis intermedia de compost ( 300 kg N/ha) se completó con fósforo y potasio mineral y otros nutrientes, para observar posibles efectos limitantes en el desarrollo del cultivo

Los resultados obtenidos muestran que los efectos de los fertilizantes orgánicos son dispares en función de su proceso de fabricación. Los compost industriales produjeron unos efectos similares o superiores al abono mineral. Para la dosis de 900 kg N/ha redujeron la producción. Los compost domésticos no provocaron efectos adversos

en ninguna de las dosis. Sin embargo, su poder fertilizante es reducido para las dosis más pequeñas. Los compost domésticos elaborados con residuos cárnicos no interfirieron en el correcto desarrollo de los cultivos.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	5
2.1 Los abonos orgánicos .....	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 El compostaje .....	6
2.1.2 Normativa.....	7
2.2 Beneficios de los abonos orgánicos.....	8
2.2.1 A corto plazo.....	8
2.2.2 A largo plazo .....	11
2.3 Riesgos .....	14
2.3.1. Metales pesados.....	14
2.3.2. Patógenos.....	16
2.3.3. Inertes.....	16
2.3.4. Salinidad .....	17
2.3.5. Inmovilización de nitrógeno .....	17
2.3.6. Compuestos fitotóxicos.....	17
2.3.7. Semillas.....	18
2.4 Efectos de los fertilizantes orgánicos en cultivos .....	18
2.4.1. Efectos en la producción .....	18
2.4.2. Acumulación de nitrato en el material vegetal .....	19
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	23
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	27
4.1 Diseño del experimento .....	27
4.2 Material vegetal.....	29
4.3 Abonos ensayados.....	29

4.3.1. Abono mineral .....	30
4.3.2. Abonos orgánicos .....	30
4.4 Aplicación de tratamientos .....	33
4.5 Manejo del cultivo .....	36
4.6 Cronograma del ensayo.....	37
4.7 Mediciones .....	38
4.7.1. Producción de los cultivos .....	38
4.7.2. Extracciones.....	39
4.7.3. Eficiencias en el uso de N, P y K.....	41
4.7.4 Parámetros de calidad del cultivo: .....	41
4.7.4.1. Spad .....	41
4.7.4.2 Determinación de nitrato .....	42
4.7.4.3 Metales pesados.....	43
4.8 Tratamiento estadístico.....	43
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Producción de los cultivos .....	47
5.2 Extracción de los cultivos .....	54
5.3 Eficiencias en el uso de N, P y K.....	56
5.4 Parámetros de calidad.....	58
5.4.1. Spad y contenido de nitrato .....	58
5.4.2. Metales pesados.....	60
5.5 Discusión general.....	63
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del proceso de compostaje.....	6
<b>Figura 2.</b> Ciclo simplificado del nitrógeno en el suelo.....	8
<b>Figura 3.</b> El ciclo terrestre del carbono.....	13
<b>Figura 4.</b> Ensayos de lechuga y espinaca.....	27
<b>Figura 5.</b> Esquema de los ensayos realizados en lechuga y espinaca.....	28
<b>Figura 6.</b> Esquema de los ocho abonos ensayados. ....	29
<b>Figura 7.</b> Estufa utilizada en el ensayo. ....	38
<b>Figura 8.</b> Analizador LECO TRUSPEC CN.....	39
<b>Figura 9.</b> Equipo ICP-OES IRIS INTREPID II XDL THERMO.....	40
<b>Figura 10.</b> Spad 502 utilizado en el ensayo. ....	42
<b>Figura 11.</b> Molido y filtrado de las muestras.....	43
<b>Figura 12.</b> Peso seco de la tercera recolección de lechuga.....	48
<b>Figura 13.</b> Peso seco medio de la recolección en espinaca.....	49
<b>Figura 14.</b> Respuesta de la lechuga a distintas dosis de N para los compost industriales y el abono mineral. ....	51
<b>Figura 15.</b> Respuesta de la lechuga a distintas dosis de N para los compost domésticos. ....	51
<b>Figura 16.</b> Respuesta de la espinaca a distintas dosis de N para los compost industriales y el abono mineral. ....	52
<b>Figura 17.</b> Respuesta de la espinaca a distintas dosis de N para los compost domésticos.....	52

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Abonos orgánicos: contenido mínimo en nutrientes.....	7
<b>Tabla 2.</b> Principales factores influyentes en la mineralización de los compost en el suelo.....	10
<b>Tabla 3.</b> Principales efectos del humus sobre distintas propiedades del suelo .....	12
<b>Tabla 4.</b> Límites máximos de concentración en metales pesados de fertilizantes orgánicos.....	15
<b>Tabla 5.</b> Contenido máximo permitido de nitrato espinaca y lechuga.....	20
<b>Tabla 6.</b> Caracterización de los compost ensayados.....	31
<b>Tabla 7.</b> Composición de los compost ensayados.....	32
<b>Tabla 8.</b> Cantidad de compost aplicado a cada maceta.....	33
<b>Tabla 9.</b> Aportes de fertilizantes realizados a los distintos tratamientos. ....	35
<b>Tabla 10.</b> Calendario de cultivo para el ensayo de lechuga.....	37
<b>Tabla 11.</b> Calendario de cultivo para el ensayo de espinaca.....	37
<b>Tabla 12.</b> Extracciones de N, P y K en lechuga y espinaca. ....	55
<b>Tabla 13.</b> Ratios de eficiencia en lechuga y espinaca.....	57
<b>Tabla 14.</b> Contenido de nitratos y Spad en lechuga y espinaca.....	59
<b>Tabla 15.</b> Contenido de metales pesados en lechuga.....	61
<b>Tabla 16.</b> Contenido de metales pesados en espinaca.....	62

# INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

La fertilización es una práctica fundamental en agricultura, que consiste en reponer al suelo aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos (MARM, 2010). Desde principios del siglo XX, los fertilizantes minerales o inorgánicos han constituido la base para la fertilización de los cultivos. Estos abonos, unidos a otros avances técnicos, han supuesto un impulso a las producciones por unidad de superficie, permitiendo doblar la producción alimentaria mundial entre 1950 y 1975. Este fenómeno se conoce como revolución verde (Irañeta *et al.*, 2010).

Sin embargo, el uso de estos fertilizantes genera efectos medioambientales negativos, especialmente si se aportan en exceso. El nitrógeno es el elemento que más problemas plantea. Estos problemas son: lixiviación o lavado de nitratos hacia las aguas subterráneas, volatilización de amoníaco hacia la atmósfera y emisiones de óxido nitroso a la atmósfera (Harper *et al.*, 1987).

El alto consumo energético para su fabricación es otro de los inconvenientes que producen estos fertilizantes. Los abonos nitrogenados tienen como origen común la síntesis de amoníaco, a través del Haber-Bosch Process. Este proceso, que consiste en la fijación del nitrógeno atmosférico con el hidrógeno gaseoso proveniente de hidrocarburos (metano del gas natural), requiere mucha energía (Irañeta *et al.*, 2010). La mayoría de las reservas de gas natural se encuentran en Oriente Próximo y antiguas repúblicas soviéticas (BP Statistical Review of World Energy, 2013). La inestabilidad política de estos países se traduce en una oscilación permanente de los precios del gas natural y por consiguiente de los fertilizantes nitrogenados.

El fósforo es otro de los nutrientes que se utilizan en la fertilización mineral, cuyas reservas mundiales son limitadas y están concentradas en áreas del mundo concretas como China o Marruecos (Irañeta *et al.*, 2011).

A la crisis en el sector de los abonos inorgánicos se une el aumento constante de residuos generados por la actividad humana y la dificultad de su gestión. Una posible alternativa a estos problemas puede ser aplicar los residuos orgánicos al suelo y usarlos como fertilizantes orgánicos.

Esta práctica supone reciclar nutrientes como el carbono, nitrógeno o fósforo, evitando así que terminen en vertedero o sean incinerados (Bernal y Gondar, 2008). Además, estos residuos también contienen materia orgánica necesaria para el funcionamiento del suelo.

Sin embargo, en la mayoría de los casos no se pueden aplicar directamente al suelo sino que requieren algún tratamiento previo, como procesos de compostaje. Los residuos utilizados como fertilizantes orgánicos pueden ser: restos vegetales provenientes de poda, cortezas, residuos de cosechas, estiércoles y purines, residuos de industrias Agroalimentarias, la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) y lodos de depuradora. Su uso está regulado por el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes, que garantiza que estos abonos son productos de calidad e inocuos para el medio ambiente.

A pesar de las ventajas que ofrecen, es necesario perfeccionar el conocimiento sobre cómo cubrir las necesidades nutricionales de un cultivo usando fertilizantes orgánicos. Algo que no ocurre con los fertilizantes minerales, donde existe un gran conocimiento sobre manejo en distintos cultivos, suelos, climas y hay disponibles recomendaciones de abonado por localidades, provincias y países.

En la actualidad Wayne (2006) trata de desarrollar una equivalencia entre fertilizantes orgánicos e inorgánicos pero debido a la gran diversidad y heterogeneidad de estos fertilizantes esta tarea debe adecuarse a cada fertilizante y a cada agrosistema concreto (Irigoyen *et al.*, 2009).

Por todo ello, es necesario seguir investigando en esta dirección para poder conocer la disponibilidad de nutrientes en los fertilizantes orgánicos y que su uso generalizado se convierta en una realidad en un futuro no muy lejano.

# ANTECEDENTES



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Los abonos orgánicos

#### 2.1.1 Definición

Los abonos o fertilizantes orgánicos son productos cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal.

Estos abonos se elaboran a partir de residuos orgánicos biodegradables, que se definen como residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia (RD 1481/2001, de 27 de diciembre). Por tanto, no todos los residuos son susceptibles de ser utilizados como abonos orgánicos. De aquí en adelante cuando se hable de residuos nos referiremos a este tipo de residuos.

La clasificación de los residuos orgánicos se puede realizar atendiendo a distintos factores. Tradicionalmente se han clasificado en función del sector productivo que los origina. Lo que permite establecer tres grupos:

- Residuos del sector primario: de actividades agrarias como restos de cosecha o poda, ganaderas como estiércoles o purines, y forestales.
- Residuos del sector secundario: procedentes de industrias agroalimentarias, textiles, papeleras y madereras.
- Residuos del sector terciario:
  - Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos: principalmente de origen doméstico, mercados de alimentación, comercios etc.
  - Lodos de depuradora: procedentes de la depuración de aguas residuales.

La Unión Europea elabora la Lista Europea de Residuos (LER) que incluye aquellas sustancias u objetos que tienen la condición de residuos. Dicha lista está dividida en veinte capítulos en función de la fuente que genera los residuos.

En algunos casos estos residuos pueden aplicarse directamente al suelo. Sin embargo en la mayoría de los casos los residuos orgánicos requieren algún tratamiento biológico previo (digestión anaerobia y/o compostaje) para higienizarlos, estabilizar su materia orgánica y aprovechar al máximo su potencial.

### 2.1.2 El compostaje

El compostaje es un proceso biooxidativo 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 gases y compuestos volátiles dando lugar a la producción de CO<sub>2</sub>, agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada “compost”(Figura 1)(Zucconi y De Bertoldi, 1986).

Asimismo, el compost puede definirse como materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos ni otros vectores de enfermedad, que puede ser manejada y almacenada relativamente estable en el tiempo sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas (Haug, 1993).

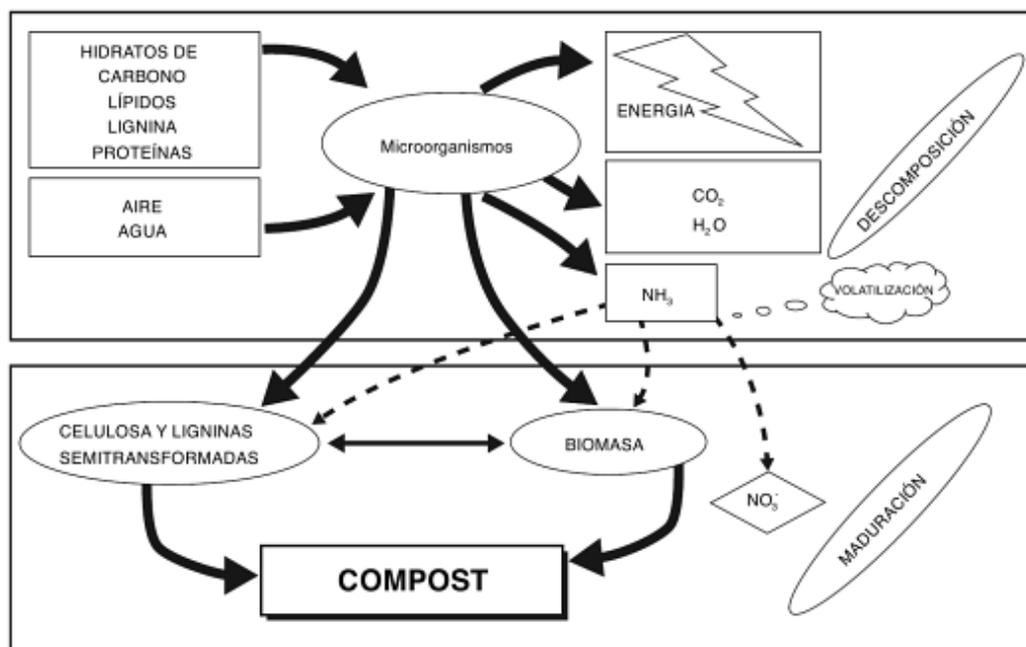


Figura 1. Esquema del proceso de compostaje (Fuente: Soliva *et al.*, 2008)

### 2.1.2 Normativa

En España el uso de fertilizantes orgánicos está regulado por el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Dicho real decreto tiene por objeto definir a los abonos orgánicos, garantizar su riqueza en nutrientes y sus características, y prevenir posibles riesgos para la salud y el medio ambiente por el uso de los mismos.

Para los abonos orgánicos, la normativa establece nueve grupos de abonos en función del contenido de nutrientes principales y del origen de la materia prima orgánica (Tabla 1), la cual deben estar incluida expresamente en la lista de residuos orgánicos biodegradables del anexo IV del citado reglamento.

Además, los fertilizantes orgánicos deben cumplir con unos requisitos de porcentaje de nitrógeno orgánico, humedad, granulometría, límite máximo de microorganismos y límite máximo de metales pesados que se detallan en el anexo 5 del RD 506/2013.

Por último, todos los abonos orgánicos deben estar incluidos en el Registro de Productos Fertilizantes para su puesta en el mercado (Capítulo 5).

**Tabla 1.** Abonos orgánicos: contenido mínimo en nutrientes (% masa) Las riquezas indicadas en nutrientes, están expresadas en %N, %P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y %K<sub>2</sub>O.

Grupos	Origen	N	P	K	N+P	N+K	N+P+K	C/N (≤)
Nitrogenados N	Animal	6	-	-	-	-	-	10
Nitrogenados N	Vegetal	2	-	-	-	-	-	15
Nitrogenados N	Mixto	3	-	-	-	-	-	12
Fosfatados F	Animal		25	-	-	-	-	
Ternarios NPK	Animal	1,5	1,5	1,5	-	-	5	10
Ternarios NPK	Mixto	1	1	1	-	-	4	15
Binarios NP	Animal	3	4	-	8	-	-	6
Binarios NP	Mixto	2	3	-	6	-	-	12
Binarios NK(liquido)	Vegetal	2		3	-	6	-	15

(Fuente: R.D. 506/2013, de 28 de junio)

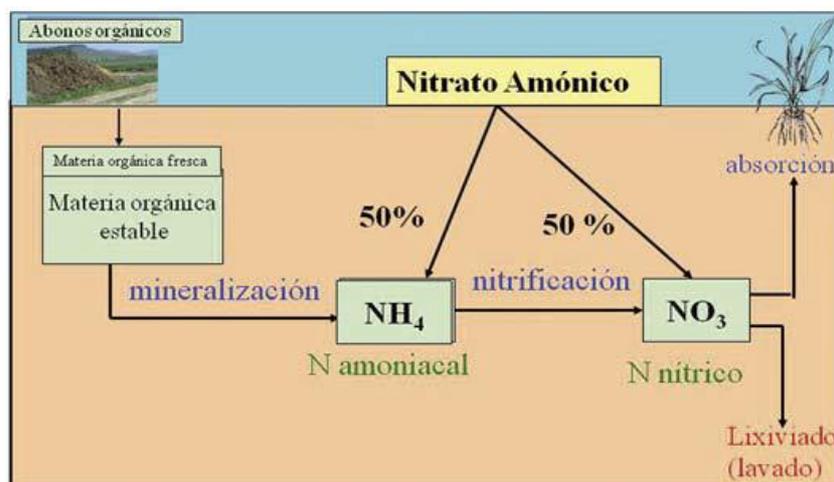
## 2.2 Beneficios de los abonos orgánicos

Los beneficios de los abonos orgánicos se pueden dividir en dos grupos en función de su ámbito temporal: a corto plazo y a largo plazo.

### 2.2.1 A corto plazo

Los fertilizantes orgánicos aportan nutrientes al suelo, que pueden ser utilizados por las plantas (Gros y Domínguez, 1992; Huerta *et al.* 2006). Estos abonos contienen macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio; aunque también contienen micronutrientes (Cu, B, Zn, Mn, Mo) (Parr y Colacicco, 1987). Su contenido generalmente es inferior al de los abonos minerales, y suelen presentar una gran variabilidad tanto en el contenido como en la concentración de los mismos. Estos valores van a depender de los materiales de partida utilizados y de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del proceso que han seguido (Soliva y Paulet, 2001; Crespo, 2011). En el compost, el contenido en nitrógeno normalmente varía entre 0,5% y 2%, aunque existen compost con contenidos superiores (Elherradi *et al.*, 2005).

La mayoría de los nutrientes que contienen los fertilizantes orgánicos se encuentran en forma orgánica (Herencia *et al.*, 2007). Por lo que una vez aplicados al suelo, requieren una transformación previa del nitrógeno orgánico en formas inorgánicas como N amoniacal ( $\text{NH}_4$ ) y principalmente N nítrico ( $\text{NO}_3$ ) que si pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas (Saña *et al.*, 1996). Este proceso se denomina mineralización, y es realizado por los microorganismos del suelo (Figura 2)(Antil *et al.*, 2009).



**Figura 2.** Ciclo simplificado del nitrógeno en el suelo. (Fuente: Irañeta et al., 2010)

Este hecho provoca que no todo el nitrógeno contenido en los abonos orgánicos pueda ser utilizado inmediatamente por los cultivos (Agehara y Warncke, 2005) y la liberación de nutrientes se produzca de forma paulatina, pudiendo durar desde semanas hasta meses (Matheus *et al.*, 2007).

La determinación de la cantidad de nitrógeno disponible (tasa de mineralización) en un abono orgánico es un proceso complejo (Saña *et al.*, 1996; Van Kessel y Reeves, 2002). La composición de los abonos influye en la velocidad de mineralización. Se ha demostrado que la concentración de hemicelulosa (Lupway y Haque, 1998), lignina (Mueller *et al.*, 1998) y las relaciones C/N (Brito de Oliveira *et al.*, 1985), lignina/N (Mueller *et al.*, 1998), y hemicelulosa/N (Lupway y Haque, 1998) están relacionadas con la mineralización del nitrógeno y el carbono orgánico. Los compuestos ricos en lignina y carbono recalcitrante son más resistentes al ataque microbiano que aquellos compuestos con un mayor contenido en carbono lábil (Sullivan *et al.*, 2002; Moral y Muro, 2008). El compost es un producto orgánico estabilizado en el que se han eliminado las moléculas orgánicas fácilmente mineralizables, por lo que su velocidad de mineralización es habitualmente menor que la de materiales sin compostar (Moral y Muro, 2008).

La mineralización del nitrógeno orgánico también se ve afectada por otros factores como la temperatura, humedad, aireación, el clima, la actividad biológica del suelo, el tipo de suelo o el pH (Labrador, 2001; Sikore y Szmids, 2005; Castro *et al.*, 2009). Estos factores aparecen resumidos en la tabla 2.

Los estudios realizados muestran que las tasas de mineralización de los compost varían entre 0 y 28% del N orgánico total (Sikore y Szmids, 2005). Moral y Muro (2008) señalan una tasa promedio anual del 13% N. Esta paulatina descomposición de la materia orgánica le confiere un carácter de abono de liberación lenta. Sin embargo, este aspecto no tiene por qué ser negativo ya que mientras el N este en forma orgánica no es susceptible de ser lavado (Moral y Muro, 2008), y el nitrógeno orgánico que no es mineralizado en el año de aplicación se almacena en el suelo y se mineralizará en futuros cultivos (Sullivan *et al.*, 2002). Aunque es difícil de cuantificar, el uso de fertilizantes orgánicos puede suponer un ahorro de nutrientes entre el 20 y el 50% con respecto a la fertilización mineral (Moral y Muro, 2008).

**Tabla 2.** Principales factores influyentes en la mineralización de los compost en el suelo.

Factor	Acción/ efecto
Humedad	En condiciones de humedad alta o condiciones muy secas, la mineralización se ralentiza. Rango idóneo: 30-40% humedad de saturación. En suelos enmendados se acelera la mineralización debido a la mayor retención de la humedad.
Temperatura	En condiciones de temperatura extrema (alta o baja), la mineralización se ralentiza. Rango idóneo: 10-35°C. dentro de ese rango la mineralización se duplica cada incremento de 10°C
Salinidad	La presencia de sales en exceso puede afectar la mineralización de la materia orgánica y especialmente la nitrificación. Adicionalmente puede causar problemas en el crecimiento de las plantas y medios donde la entrada del compost supere valor en torno al 30% en volumen.
pH	La mineralización de los compost en los suelos enmendados se ve favorecida en suelos de naturaleza acida (pH entre 5 y 7)
Naturaleza del suelo	La tipología del suelo receptor puede favorecer o no la mineralización del compost. La existencia de condiciones adecuadas para la degradación (aireación, humedad, etc.) junto a granulometrías no demasiado finas favorece dicha mineralización, mientras que las arcillas protegen en mayor medida a las sustancias orgánicas de la descomposición.
Naturaleza del compost	<p><i>Relación C/N:</i> las relaciones C/N bajas favorecen la mineralización mientras que las altas hacen que se pierda eficiencia como suministrador de N</p> <p><i>Grado de humificación:</i> la existencia de mayor humificación favorece la presencia de especies más refractarias a la mineralización.</p> <p><i>Granulometría:</i> las distintas fracciones granulométricas influyen en el comportamiento del compost, debido a su distinto contenido nutriente así como por su diferente superficie específica que facilita, o no, su ataque microbiano.</p>
Actividad biológica del suelo	Entre otras muchas funciones, se encargan de descomponer, transformar a compuestos más simples y mineralizar los constituyentes de los restos orgánicos, además de resintetizar sustancias a través de su metabolismo.
Otros	El clima, la aireación, la presencia de determinados nutrientes o sustancias inhibitoras también influyen en la mineralización de los compost

(Fuente: Adaptado de Moral y Muro, 2008)

### 2.2.2 A largo plazo

Los fertilizantes orgánicos aportan materia orgánica estabilizada (humus) al suelo (Castro *et al.*, 2009). La materia orgánica desempeña un papel fundamental en la fertilidad de los suelos agrícolas. Esto se debe a la influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Debosz *et al.*, 2002; Labrador, 2001).

Los estudios realizados demuestran que el aporte reiterado de materia orgánica mejora la estructura del suelo, favoreciendo la formación y estabilización de agregados, la aireación, la resistencia al encostramiento, la velocidad de infiltración y circulación del agua, el enraizamiento, la resistencia a la erosión y la acción de los aperos. (Porta *et al.*, 1999).

La aplicación de materia orgánica estabilizada al suelo también produce incrementos en las actividades enzimática y biológica del suelo (Arancon *et al.*, 2006). Estos y otros efectos de la materia orgánica aparecen detallados en la tabla 3.

Además de efectos agronómicos, la materia orgánica también produce efectos medioambientales positivos.

Desde la revolución industrial se ha producido un incremento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha pasado de 280 ppmv en 1750 a 367 ppmv en 1990. El uso de combustibles fósiles y las prácticas agrícolas han contribuido a ello (Lal, 2004). El aumento de la concentración de GEI está relacionado con el cambio climático (Paustain *et al.*, 1997). El secuestro de CO<sub>2</sub> en el suelo permite reducir su concentración. Los acuerdos internacionales, como el Protocolo de Kyoto, fomentan el secuestro de carbono en el suelo y puede ser utilizado para fomentar políticas de secuestro de carbono en el suelo (Smith, 2004).

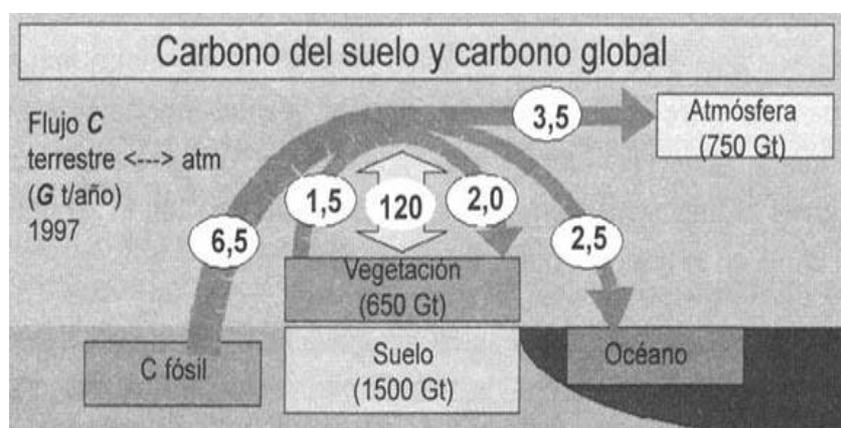
**Tabla 3.** Principales efectos del humus sobre distintas propiedades del suelo

<b>PROPIEDADES DEL SUELO</b>	<b>EFECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA HUMIFICADA</b>
Oscurecimiento del color	En caso de suelo desnudo disminuye el albedo (radiación reflejada/radiación recibida), afectando así al balance de energía. Aumenta la temperatura del suelo.
Mejora la estructura del suelo	Favorece la : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ formación y estabilidad de agregados</li> <li>✓ aireación</li> <li>✓ resistencia al encostramiento</li> <li>✓ infiltración y movimiento del agua</li> <li>✓ penetración de las raíces</li> <li>✓ resistencia a la erosión</li> <li>✓ acción de los aperos de labranza</li> </ul>
Adsorción, intercambio de iones	Interviene en el ciclo de nutrientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ almacenamiento de nutrientes en formas orgánicas</li> <li>✓ suministra nutrientes lentamente al mineralizarse</li> <li>✓ disminuye pérdidas por lavado</li> </ul> Aumenta la capacidad de intercambio catiónico Aumento del poder tampón, regula el pH Permite la formación de complejos y quelatos.
Balance hídrico del suelo	Aumenta la lluvia efectiva al favorecer la infiltración y la estabilidad de los agregados. Aumenta la capacidad de retención de agua del suelo
Biológicos	Favorece la respiración radicular. Favorece la germinación de semillas. Favorece el estado sanitario de órganos subterráneos. Es fuente de energía y nutrientes para los organismos del suelo. El C desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales. Contrarresta el efecto de algunas toxinas. Modifica la actividad enzimática. Activa la rizogénesis. Mejora la nutrición mineral de los cultivos.

(Fuente: Muro, 2009)

El aporte de materia orgánica a través de los fertilizantes orgánicos es una alternativa de secuestro de carbono en el suelo (Figura 3), contribuyendo a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Freibauer *et al.*, 2004). Sin embargo, el secuestro de carbono en el suelo está limitado por la propia capacidad del suelo para almacenar materia orgánica y este proceso es reversible si las prácticas de manejo apropiadas dejan de realizarse (Smith, 2004).

No obstante, hay que tener en cuenta que al sustituir los fertilizantes minerales por orgánicos se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la propia síntesis de los abonos minerales.



**Figura 3.** El ciclo terrestre del carbono (Fuente: FAO, 2002).

La materia orgánica también reduce los procesos de erosión y desertificación de los suelos y aumenta la actividad biológica y biodiversidad de los ecosistemas. Esto se debe principalmente a sus efectos positivos sobre la estructura del suelo (Bronick y Lal, 2005).

Por otra parte, el uso de fertilizantes orgánicos también proporciona dos beneficios adicionales. El primero es la utilización de los residuos como recurso. La recogida y tratamiento separado de los biorresiduos es una vía para dar valor a este material como recurso y cerrar el ciclo de la materia orgánica. Las tendencias legislativas actuales están encaminadas a fomentar las prácticas de reciclaje y minimizar la entrada de materia orgánica biodegradable a vertedero. En segundo lugar el uso de fertilizantes orgánicos favorece la conservación de los recursos, derivados de sustituir ciertos inputs por otros.

## **2.3 Riesgos**

El suelo es un medio frágil y vulnerable, no renovable a corto plazo. La aplicación de residuos orgánicos contaminados o indebidamente tratados puede representar un riesgo para la salud de los suelos. Estos materiales pueden contener compuestos contaminantes de origen orgánico e inorgánico, metales pesados, microorganismos patógenos, inertes etc.; los cuales en cantidades elevadas pueden afectar a las características de los suelos y generar intermedios metabólicos que interfieren en el desarrollo y producción de las plantas (Utria *et al.*, 2006). El cumplimiento estricto de la legislación (RD 506/2013, de 28 de junio) es necesario para poder utilizar con fines agrícolas residuos orgánicos seguros y de calidad.

### **2.3.1. Metales pesados**

Todos los residuos empleados en los procesos de compostaje contienen metales pesados. Algunos de ellos, como el cobre o el zinc, son elementos esenciales para las plantas y su deficiencia puede causar problemas en los cultivos; pero a la vez pueden ser tóxicos cuando se hallan en concentraciones elevadas. Otros, como el cadmio, siempre producen efectos tóxicos (Felipó, 2001).

Una vez incorporados al suelo, los metales pesados contenidos en los fertilizantes orgánicos pueden seguir varios caminos: pueden ser retenidos en el suelo, fijados por adsorción, complejación y precipitación, movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización, o pueden ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas. (Álvarez-Rodríguez y Fernández-Marcos, 2011). Su movilidad y por consiguiente su disponibilidad para los seres vivos está condicionada por su concentración, la forma química en que se encuentran, las características del suelo (pH, potencial redox, contenido y naturaleza de la materia orgánica y arcillas, presencia de oxi-hidróxidos de Fe, Al, y Mn) y condiciones climáticas (pluviometría) (Felipó, 2001).

Algunos estudios realizados han mostrado que bajo una utilización normal el compost no causa problemas de fertilidad en los suelos o de seguridad alimentaria por metales pesados (Chaney *et al.*, 2005).

Sin embargo, la variabilidad de las materias primas utilizadas hace que el comportamiento de los compost en el suelo sea muy heterogéneo. Su contenido está directamente relacionado con los materiales de partida utilizados, por lo que la mejor manera de reducir su presencia pasa por la recogida selectiva de los residuos y evitar contaminaciones en las propias plantas de compostaje (López *et al.*, 2004). Huerta *et al.* (2011) compararon el contenido de metales pesados en dos muestras de compost, uno procedente de la separación en origen de la fracción orgánica y otra procedente de separación mecánica. Observaron como el compost de materia orgánica separada en origen tenía un contenido en metales pesados menor y mayor contenido en nutrientes que el compost procedente de separación mecánica.

En España el RD 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes fija unos estrictos límites en metales pesados estableciendo hasta tres clases de calidad según su contenido (Tabla 4). Para el compost de peor calidad (clase C) impone restricciones de uso, no pudiéndose aplicar dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por hectárea y año. En zonas de especial protección, las Comunidades Autónomas pueden modificar la cantidad anterior. Si los contenidos en metales pesados son más elevados que los límites establecidos para la clase C, los compost deben ir a vertedero controlado o incineración. Las enmiendas orgánicas se aplicarán en el suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias. Como se ha dicho en el párrafo anterior, la separación en origen de los residuos orgánicos municipales garantizara un menor nivel de metales pesados. El producto obtenido en recogida no separada no puede ser considerado “compost”, sino “bioestabilizado”. Su uso agrícola está fuertemente limitado y no siempre autorizado en todas las comunidades.

**Tabla 4.** Límites máximos de concentración en metales pesados de fertilizantes orgánicos (Sólidos: mg/kg s/materia seca. Líquidos: mg/kg s/sustancia natural).

<b>Metal pesado</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>
<i>Cadmio</i>	0,7	2	3
<i>Cobre</i>	70	300	400
<i>Níquel</i>	25	90	100
<i>Plomo</i>	45	150	200
<i>Zinc</i>	200	500	1.000
<i>Mercurio</i>	0,4	1,5	2,5
<i>Cromo (total)</i>	70	250	300
<i>Cromo(VI)</i>	No detectable según el método oficial	No detectable según el método oficial	No detectable según el método oficial

(Fuente: R.D. 506/2013, de 28 de junio)

### 2.3.2. Patógenos

Los residuos orgánicos pueden contener virus, bacterias u hongos patógenos. La aplicación de materiales no tratados puede provocar la incorporación de dichos patógenos al suelo (Epstein, 2005). Esto no suele ocurrir con el compost. Ya que gran parte de los patógenos son eliminados durante el proceso de compostaje, siendo un método eficaz de desinfección y control. Esto se debe principalmente a las altas temperaturas que se alcanzan durante la fase termófila. Por estas razones, además de alcanzar elevadas temperaturas en toda la masa de compostaje, es necesario que sus niveles se prolonguen un cierto tiempo (Moreno y Mormereno, 2008). La temperatura que ha mostrado ser más efectiva es 55°C durante varios días, dependiendo del sistema de compostaje que se use (Epstein, 2005).

En este ámbito el RD 506/2013 establece dos restricciones:

1. Los subproductos animales no destinados al consumo humano (SANDACH) están sometidos a los requisitos del reglamento (CE) nº 1069/2009, que establece distintos requerimientos del proceso de higienización según la clase de peligrosidad asignada.
2. En todos los productos de origen orgánico se acreditará que no superen los siguientes niveles máximos de microorganismos:
  - a. *Salmonella*: Ausencia en 25 g de producto elaborado.
  - b. *Escherichia coli*: Inferior a 1000 número más probable por gramo de producto elaborado

### 2.3.3. Inertes

Los residuos utilizados en la elaboración de compost también pueden contener materiales inertes o impurezas, principalmente plásticos y vidrios, que se acumulan en el suelo (Masaguer y Benito, 2008). La normativa (RD 506/2013, de 28 de junio) establece un contenido máximo de un 3% de impurezas de tamaño superior a 2 mm.

#### 2.3.4. Salinidad

El uso de fertilizantes orgánicos también puede provocar problemas de salinidad en suelos. Los altos contenidos de sales en el suelo pueden repercutir en la germinación de las semillas y el desarrollo general de los cultivos. Los efectos dependen de la tolerancia de los cultivos a la salinidad, del tipo de suelo y las pautas de riego. Además si las sales son poco solubles o el suelo tiene drenaje deficiente los efectos del exceso de sales tienen carácter acumulativo. Esto tiene especial relevancia en el uso del compost como sustrato. A pesar de ello no existen actualmente límites legales.

#### 2.3.5. Inmovilización de nitrógeno

Se denomina inmovilización a la transformación de N inorgánico ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  o  $\text{NO}_3^-$ ) del suelo en N orgánico, realizada por los microorganismos. La aplicación de residuos orgánicos con un elevado ratio C/N puede provocar problemas de inmovilización del N mineral en el suelo. Este fenómeno también se conoce como hambre de nitrógeno. Esta relación C/N es elevada en materias orgánicas frescas y compost inmaduros. En los compost maduros esta relación suele ser baja, por lo que no se producen problemas de inmovilización (Iglesias *et al.*, 2008).

#### 2.3.6. Compuestos fitotóxicos

Se entiende por fitotoxicidad la condición o cualidad del compost que influye negativamente en el crecimiento vegetal. Los efectos fitotóxicos del compost han sido atribuidos a la emisión de amoníaco, óxido de etileno, ácidos orgánicos de pequeño tamaño y fenoles (Zubillaga *et al.*, 2008).

La producción de compuestos fitotóxicos representa una situación transitoria durante el compostaje, siendo elevada en el estadio inicial y disminuyendo en la etapa de maduración. Esta disminución de la fitotoxicidad hacia el final del proceso puede deberse a varios factores. Fundamentalmente a la degradación metabólica de algunos compuestos orgánicos fitotóxicos, o a la incorporación de determinadas moléculas fitotóxicas a la fracción de ácidos húmicos (Iglesias *et al.*, 2008). Los compost maduros no suelen presentar problemas de fitotoxicidad, siendo mas frecuentes en materia orgánica fresca o compost inmaduros. Los ensayos biológicos como la germinación de semillas permiten evaluar la fitotoxicidad en compost (Iglesias *et al.*, 2008).

### 2.3.7. Semillas

La existencia de semillas y propágulos (bulbos, rizomas, tallos que pueden rebrotar) de vegetales no deseables (malas hierbas) puede ser otro riesgo añadido en el uso de residuos orgánicos. Al aplicarlos al suelo los abonos orgánicos pueden introducir especies de plantas no deseables (Navarro *et al.*, 1995). Sin embargo con las altas temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje muchas son eliminadas (Epstein, 2005).

## **2.4 Efectos de los fertilizantes orgánicos en cultivos**

### 2.4.1. Efectos en la producción

El uso de fertilizantes orgánicos puede producir producciones similares a los cultivos tratados con fertilizantes minerales para las mismas dosis de nutrientes (Herencia *et al.*, 2007; Lepodeta *et al.*, 2013). A pesar de ello, la respuesta del cultivo a estos fertilizantes depende de las características del fertilizante y del tipo de residuos utilizados. Por este motivo, se han utilizado diversos compost elaborados a partir de diferentes residuos orgánicos en cultivos de hoja. Elherradi *et al.* (2005) compararon el efecto de un fertilizante mineral con el compost de residuos vegetales en lechuga cultivada en invernadero en dos tipos de suelo. Los resultados mostraron que la mineralización del compost fue diferente según el tipo de suelo, y baja comparada con el fertilizante mineral. Sin embargo la acción conjunta del fertilizante mineral con el compost permitió reducir en gran medida la dosis del primero.

Los lodos de depuradora también han demostrado producir buenas cosechas en lechuga (Castro *et al.*, 2009). Sin embargo su uso produjo un riesgo por transferencia de metales al cultivo.

Los compost elaborados a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos fueron ensayados con éxito como abonos orgánicos en cultivos de espinaca (Maftoun *et al.*, 2006). Ragályi *et Kádár* (2012) compararon el efecto de compost maduros e inmaduros de residuos cárnicos y polvo de carne a largo plazo, observando el efecto residual de estos abonos ya que el nitrógeno que no se mineralizó el primer año fue utilizado por los sucesivos cultivos.

#### 2.4.2. Acumulación de nitrato en el material vegetal

Los fertilizantes también afectan a los parámetros de calidad de los cultivos. Uno de esos parámetros es el contenido en nitrato. En general, el nitrato tiene una baja toxicidad. Sin embargo, su conversión en nitrito o nitrosamina representa un alto riesgo para la salud humana. El nitrito puede reaccionar con la hemoglobina de la sangre formando metahemoglobina, reduciendo la liberación de oxígeno en los tejidos. Esta enfermedad se denomina metahemoglobinemia o síndrome de los bebés azules (Santamaría, 2006). Por otro lado el nitrato también puede producir nitrosamidas y nitrosaminas, sustancias que han demostrado tener efectos cancerígenos.

Aproximadamente el 70% del nitrato ingerido procede del consumo de vegetales, por lo que es deseable que su contenido sea mínimo (Guadagnin *et al.*, 2005).

Hasta la fecha no se ha demostrado cual es el mecanismo fisiológico que determina la acumulación de nitrato en vegetales. Una teoría reciente, denominada *source-bank*, establece que la acumulación se debe al papel que el nitrato puede desempeñar como regulador. De esta forma, las plantas acumularían nitrato con el fin de mantener su turgencia celular. Esta función ormoreguladora no es específica del nitrato y puede ser desempeñada por otros compuestos, principalmente carbohidratos hidrosolubles. Dependiendo de la disponibilidad de carbohidratos y/o nitrato, unos u otros desarrollarán un papel más o menos preponderante en el control osmótico. Esta teoría es avalada por la relación inversa encontrada entre la concentración de nitrato y carbohidratos solubles en diferentes especies: *Lolium perenne* L. o *Lactuca sativa* L. cv *capitata* (Irigoyen, 2001).

La acumulación de nitrato en vegetales está condicionada por factores genéticos, ambientales y agronómicos (Santamaría, 2006). Éste varía según las especies y variedades, siendo la lechuga y la espinaca dos especies con una gran capacidad para acumular nitratos (Rincón *et al.*, 2002). Además dentro de una planta el contenido es mayor en hojas, frutos e inflorescencias que en tallos y raíces (Matallana *et al.*, 2012).

De los factores ambientales, destacan la temperatura, la humedad y la intensidad luminosa. Por último entre los factores agronómicos tenemos la cantidad de nitrógeno aportado y la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .

Numerosos estudios han demostrado que el uso de fertilizantes orgánicos reduce el contenido en nitratos comparado con el uso de fertilizantes minerales, aunque esto no es asumido por todos los investigadores. Pavlou *et al.* (2006) observó que el contenido en nitrato en lechuga depende del tipo de fertilizante y la dosis aplicada. Una investigación con 27 variedades de espinacas llegó a la conclusión de que los niveles medios de nitrato fueron significativamente mayores en las espinacas cultivado de manera convencional en comparación con las espinacas cultivados orgánicamente (Koh *et al.*, 2012).

Worthington (2001) resume los resultados de 18 estudios que comparaban el nitrato niveles de frutas orgánicas y convencionales, verduras y granos, y se encontró que en el 72% de los casos los niveles de nitrato fueron mayores en los productos convencionales (con abono mineral), mientras que en 24% de los casos los niveles de nitrato fueron mayores en los productos tratados con abonos orgánicos.

El Reglamento (UE) N°1258/2011 de la Comisión, de 2 de diciembre de 2011, establece un contenido máximo en nitrato de 3500 mg/Kg en espinaca fresca, y de 5000 y 4000 mg /kg en lechuga cultivada en invernadero entre el 1 de octubre y el 31 de marzo, y el 1 de abril y el 30 de septiembre respectivamente (Tabla 5).

**Tabla 5.** Contenido máximo permitido de nitrato espinaca y lechuga.

Productos alimenticios	Contenidos máximos (mg NO <sub>3</sub> /kg)	
Espinacas frescas (Spinacia oleracea)		3500
Espinacas en conserva, refrigeradas o congeladas		2000
Lechugas frescas (Lactuca sativa L.) (lechugas de invernadero y cultivadas al aire libre)	Recolectadas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo:	
	lechugas cultivadas en invernadero	5000
	lechugas cultivadas al aire libre	4000
	Recolectadas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre:	
lechugas cultivadas en invernadero	4000	
lechugas cultivadas al aire libre	3000	
Lechugas del tipo "Iceberg"	Lechugas cultivadas en invernadero	2500
	Lechugas cultivadas al aire libre	2000

(Fuente: R (UE) n° 1258/2011 de la Comisión, de 2 de diciembre de 2011)

# OBJETIVOS



### 3. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es evaluar distintos tipos de compost (domésticos e industriales) producidos en Navarra como fertilizantes a corto plazo, observando la respuesta del cultivo en términos de producción, eficiencia de utilización y absorción de nutrientes y calidad de la producción

Estos fertilizantes son:

- Cuatro compost domésticos de FORM, con y sin residuos cárnicos
- Dos compost comerciales
- Un compost de estiércol vacuno con residuos textiles(zapatos)



# MATERIALES Y MÉTODOS



## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos para evaluar el efecto de siete abonos orgánicos y uno mineral en los cultivos de espinaca y lechuga. Ambos ensayos se realizaron en invernadero para controlar las distintas variables climáticas.

### 4.1 Diseño del experimento

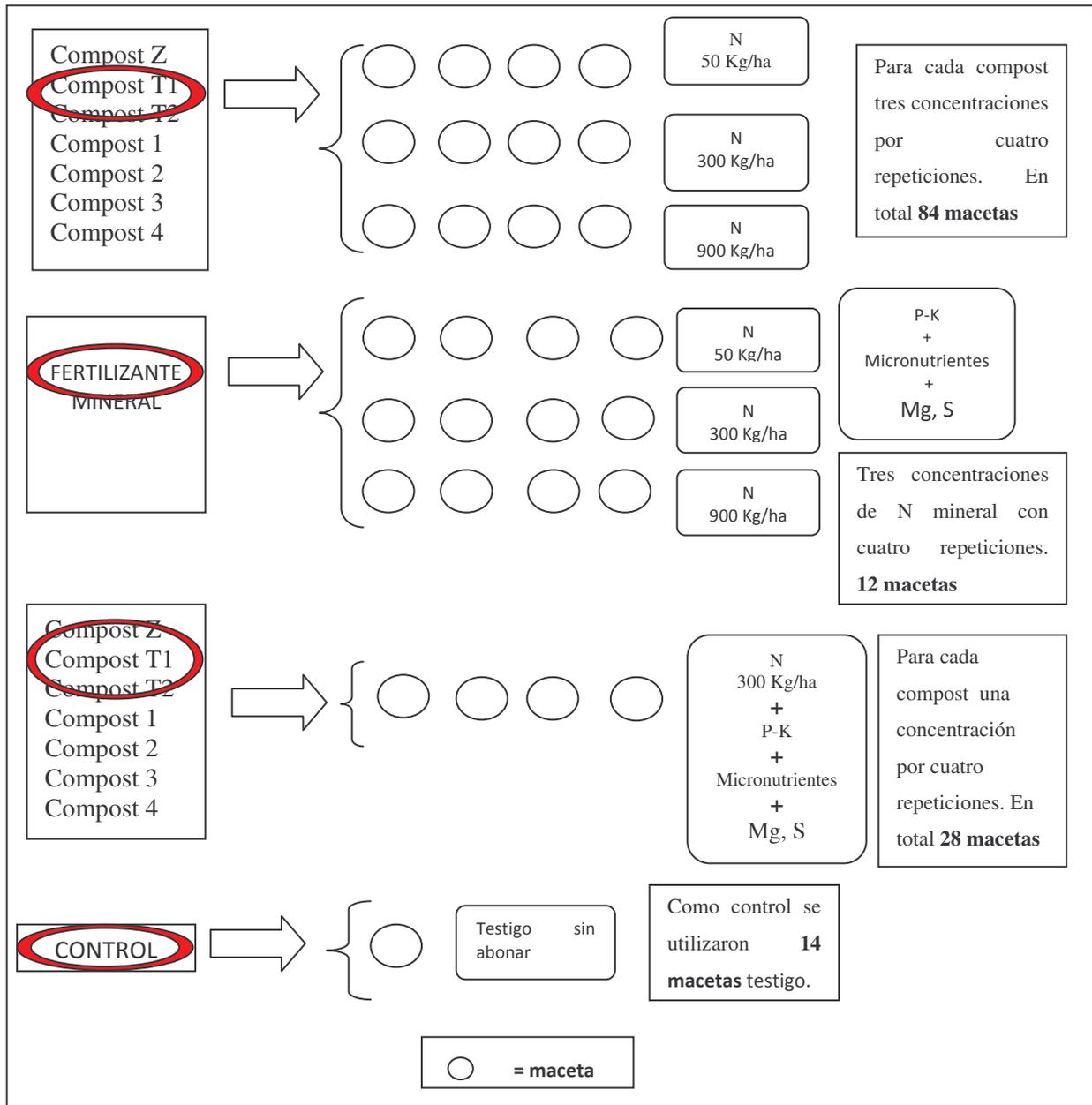
Se realizaron dos ensayos en el invernadero N° 2 de la Finca de Prácticas y Experimentación Agrícola de la UPNA, donde se cultivó: lechuga (*Lactuca sativa* L. c.v. Batavia) y espinaca (*Spinacia oleracea* L. c.v. Gamma), en macetas de 10 l. (Figura 4).

Para dichos ensayos se utilizaron cuatro compost domésticos, tres compost comerciales y un abono mineral (nitrato cálcico 4 hidrato y nitrato amónico). Cada compost fue aplicado en tres dosis diferentes de 50kgN/ha, 300kgN/ha y 900kgN/ha. La dosis de aplicación de los compost fue calculada en base a tres niveles distintos de nitrógeno, independientemente de los contenidos en otros elementos. Para evitar posibles efectos limitantes de otros nutrientes se añadió otro tratamiento en el cual se aplicó una dosis de 300kg/ha de nitrógeno orgánico con una dosis de fósforo y potasio.



**Figura 4.** Ensayos de lechuga y espinaca en el laboratorio n° 2 de la Finca de Prácticas.

El abono mineral se aplicó en las mismas dosis de nitrógeno que los compost (50, 300 y 900 kg/ha), y también se añadió fósforo y potasio. Además, a estos dos últimos tratamientos se aplicó magnesio y azufre, y un preparado de micronutrientes. Como control se utilizaron macetas testigo sin ningún tipo de abonado. El diseño utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental elemental una maceta. Los tratamientos efectuados están resumidos en la figura 5.



**Figura 5.** Esquema de los ensayos realizados en lechuga y espinaca.

En cada ensayo se han utilizado 138 macetas. Como se ha realizado un ensayo para lechuga y otro para espinaca, en total son 276 macetas.

## 4.2 Material vegetal

**Lechuga:** *Lactuca sativa* L. cv Batavia.

Es una variedad de lechuga de tipo semicrujiente, con repollo y hojas algo rizadas. La lechuga Batavia tiene una gran importancia en Navarra, y desde hace unos años constituye el cultivo más extendido de los invernaderos de la Comunidad Foral de Navarra (Sádaba et al., 2010).

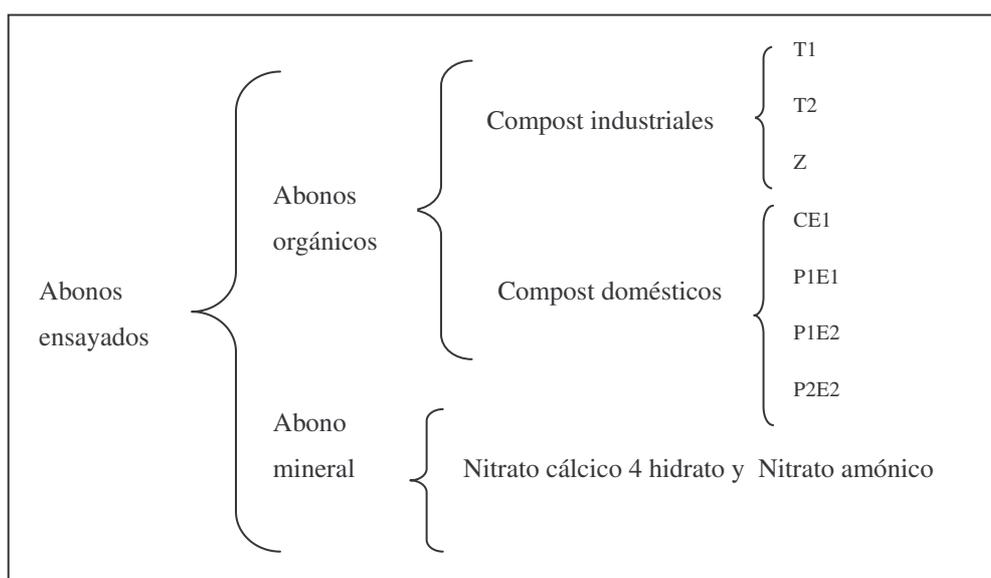
Para el presente ensayo se compraron plántulas de lechuga en estadio de cuatro hojas en semillero, y se mantuvieron en el invernadero hasta el momento del trasplante.

**Espinaca:** *Spinacia oleracea* L. c.v. Gamma

Se compraron semillas de espinaca para su germinación en bandejas de poliestireno expandido. Antes de la siembra se sumergieron durante veinticuatro horas en agua para favorecer la germinación. Posteriormente se trasplantaron en estadio de cuatro hojas.

## 4.3 Abonos ensayados

Los abonos utilizados fueron ocho, uno mineral y siete orgánicos (Figura 6). A continuación se van a explicar las características más importantes de cada uno de ellos.



**Figura 6.** Esquema de los ocho abonos ensayados.

#### 4.3.1. Abono mineral

El abono mineral fue aplicado en dos momentos diferentes. En la primera aplicación se utilizó nitrato cálcico 4 hidrato, y en la segunda nitrato amónico.

Tanto las soluciones de nitrato cálcico 4 hidrato como de nitrato amónico, se prepararon en el laboratorio 12 de la E.T.S.I.A.( Ver apartado 4.4.2.)

#### 4.3.2. Abonos orgánicos

##### **Compost industriales**

**T1.** Es un compost comercial obtenido a partir de deyecciones de animales (2% en peso), lodos de conserveras (15%), residuos de tejidos animales (15%) y vegetales (45%), desechos de la fabricación de papel compuesto por fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica (17%), y lodos de alcoholeras (6%).

**T2.** Es un compost comercial obtenido a partir de lodos de conserveras (25%), lodos de alcoholeras (15%) y desechos de la fabricación de papel compuesto por fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica (45%).

**Z.** Es un compost obtenido a partir de residuos orgánicos de zapatos compostables con estiércol de vacuno. Ha sido elaborado por la Universidad de Vigo.

##### **Compost domésticos**

Los cuatro compost domésticos utilizados se produjeron en la propia UPNA a partir del compostaje en compostadores de 320 L de residuos vegetales procedentes de mercadillos (frutas y hortalizas), restos de poda de invierno triturada y restos de carne de carnicería asimilables a residuos domésticos. Este estudio se publicó en un Trabajo Fin de Master (Sánchez, 2012). Los compost domésticos ensayados fueron:

**CE1:** obtenido a partir de residuos vegetales. La proporción “estructurante/otros residuos” empleada fue de 0,6:1 en peso. Tamizado a 1cm.

**P1E1:** obtenido a partir de residuos vegetales más un 5% en peso de residuos cárnicos. La proporción “estructurante/otros residuos” empleada fue de 0,6:1 en peso. Tamizado a 1cm.

**P1E2:** obtenido a partir de residuos vegetales más un 15% en peso de residuos cárnicos. La proporción “estructurante/otros residuos” empleada fue de 0,6:1 en peso. Tamizado a 1cm.

**P2E2:** obtenido a partir de residuos vegetales más un 15% en peso de residuos cárnicos. La proporción “estructurante/otros residuos” empleada fue el doble que en los tres compost anteriores (1,2:1 en peso). Tamizado a 1cm.

La composición elemental, el peso específico, el pH, la conductividad eléctrica y el contenido hídrico de cada compost fueron determinados antes de su aplicación. Estos valores están resumidos en las tablas 6 y 7.

**Tabla 6.** Caracterización de los compost ensayados.

	Z	T1	T2	CE1	P1E1	P1E2	P2E2
<b>Ctot/Ntot</b>	17,1	11,5	16,1	13,4	12,0	11,4	11,7
<b>pH</b>	6,4	7,7	7,3	8,3	8,9	8,8	8,3
<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	1,2	4,8	3,2	1,2	1,5	1,2	0,8
<b>PE (Kg/L)</b>	0,3	0,9	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>HUM (%)</b>	69,1	7,0	20,9	14,6	13,9	14,2	15,0

**Tabla 7.** Composición de los compost ensayados.

	Z	T1	T2	CE1	P1E1	P1E2	P2E2
N tot (g/100g)	0,7	1,1	0,7	2,0	2,5	2,8	3,0
C tot (g/100g)	8,9	13,2	11,8	26,9	28,1	30,0	34,1
C org (g/100g)	11,1	10,6	8,9	25,9	28,1	30,0	34,1
P(g/100g)	0,1	1,1	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6
K(g/100g)	0,2	2,1	0,4	1,3	1,5	1,4	1,1
S (g/100g)	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
Ca(g/100g)	0,3	6,6	10,7	4,4	4,2	4,0	3,6
Mg(g/100g)	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Mn(mg/Kg)	215,4	160,1	129,6	98,9	104,3	104,2	88,8
Na(g/100g)	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2
Mo(mg/Kg)	<0,5	0,9	1,5	<0,5	0,6	0,7	0,6
B(mg/Kg)	4,4	71,4	19,5	35,0	37,5	36,1	34,0
Co(mg/Kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fe(mg/Kg)	874,0	3641,9	2938,8	2233,2	2566,2	2056,1	2180,2
Cu(mg/Kg)	11,3	205,4	123,0	34,5	33,7	30,7	32,5
Zn(mg/Kg)	104,2	106,5	123,4	131,1	115,5	105,3	124,7
Cr(mg/Kg)	1,6	25,5	25,3	13,4	11,8	11,5	17,4
Cd(mg/Kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pb(mg/Kg)	1,7	7,4	17,3	12,2	10,7	8,0	9,6
Ni(mg/Kg)	<0,5	10,3	8,9	4,2	3,7	3,9	3,8
Al(g/100g)	0,1	0,7	1,8	0,3	0,3	0,3	0,3
As(mg/Kg)	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5 ±0	<0,5	<0,5
Sb(mg/Kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Li(mg/Kg)	1,2	6,7	9,1	4,5	4,5	4,7	4,0
Ti(mg/Kg)	128,7	117,4	49,5	36,3	35,2	37,6	34,0
Tl(mg/Kg)	<0,5	4,9	1,8	1,4	2,3	2,5	1,0
V(mg/Kg)	2,1	14,2	14,4	10,3	9,8	10,1	9,4
Sr(mg/Kg)	14,4	262,9	200,2	213,9	236,2	217,1	204,8
Se (mg/Kg)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

## 4.4 Aplicación de tratamientos

### 4.4.1 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se aportaron en fondo en una única aplicación antes de la plantación.

Los cálculos necesarios para conocer la cantidad de compost a aplicar a cada tratamiento se realizaron según un trabajo final de carrera sobre fertilización mineral y orgánica en espinaca (Larrañeta, 2003). Las cantidades de compost aplicadas a cada tratamiento varían en función de la riqueza en nitrógeno del compost utilizado en cada tratamiento. Las cantidades aportadas aparecen reflejadas en la tabla 8.

**Tabla 8.** Cantidad de compost aplicado a cada maceta.

Tratamiento		Compost añadido a cada maceta(g)
Tipo de compost	Dosis N (kg/ha)	
Z	50	50,0
Z	300	322,4
Z	900	932,6
T1	50	34,9
T1	300	264,5
T1	900	1005,3
T2	50	36,7
T2	300	713,4
T2	900	1375,4
CE1	50	23,2
CE1	300	163,1
CE1	900	971,0
P1E1	50	19,4
P1E1	300	134,9
P1E1	900	967,0

Tratamiento		Compost añadido a cada maceta(g)
Tipo de compost	Dosis N (kg/ha)	
P2E1	50	16,7
P2E1	300	116,5
P2E1	900	969,0
P2E2	50	14,3
P2E2	300	101,2
P2E2	900	973,1
Z	300+PK	322,4
T1	300+PK	264,5
T2	300+PK	713,4
CE1	300+PK	163,1
P1E1	300+PK	134,9
P2E1	300+PK	116,5
P2E2	300+PK	101,2

#### 4.4.2. Abono mineral

El abonado de nitrógeno mineral fue aplicado en cobertera en dos momentos diferentes. En la primera aplicación se aportaron 25 Kg/ha de nitrógeno en forma de nitrato cálcico 4-hidrato ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ), disuelto en agua. Dicho abono también aportó 55 Kg/ha de CaO. La segunda aplicación de nitrógeno mineral se realizó en forma de nitrato amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) hasta completar las dosis establecidas: 25, 275 y 875 kg N /ha respectivamente.

El mismo día de la primera aplicación de nitrógeno mineral se procedió a la fertilización de fósforo y potasio, para los tratamientos establecidos. En los tratamientos con dosis de P-k se aportaron 250 Kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha y 167 Kg  $\text{K}_2\text{O}$ /ha en forma de potasio di-hidrogeno fosfato ( $\text{KH}_2\text{PO}$ ).

En los tratamientos de nitrógeno mineral y 300kg N/ha con P-K también se aplicó magnesio y azufre, con la misma concentración para todos ellos: 35 Kg/ha de MgO y 30 Kg/ha de S en forma de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Entre la primera y la segundo aportación de nitrógeno mineral se aplicó un preparado comercial de micronutrientes a una dosis de 30kg/ha (Fe, Mn, Zn, Cu quelatados con EDTA, B y Mo en forma de sales).

En la tabla 9 están resumidos los aportes para cada tratamiento.

**Tabla 9.** Aportes de fertilizantes realizados a los distintos tratamientos.

Tratamientos	COMPOST	ABONO MINERAL		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Micronutrientes
	(N orgánico)	1ª aplicación (Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4 H <sub>2</sub> O)	2ª aplicación (NH <sub>4</sub> NO)			
Compost Z Compost T1 Compost T2 Compost CE1 Compost P1E1 Compost P2E1 Compost P2E2	50 Kg N/ha  300 Kg N/ha  900 Kg N/ha					
Compost Z Compost T1 Compost T2 Compost CE1 Compost P1E1 Compost P2E1 Compost P2E2	300 Kg N/ha			250Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha  167Kg K <sub>2</sub> O/ha	35 Kg MgO /ha  30 Kg S/ha	SI
N MINERAL + Dosis P-K		25 Kg N/ha  55 Kg/ha de CaO	25 Kg N/ha  275 Kg N/ha  875 Kg N/ha	250Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha  167Kg K <sub>2</sub> O/ha	35Kg MgO/ha  30 Kg S/ha	SI
CONTROL						

## **4.5 Manejo del cultivo**

### **4.5.1 Llenado de macetas**

Antes de dar comienzo con el ensayo se procedió al llenado de las macetas. El sustrato utilizado para el ensayo fue una mezcla de turba negra no fertilizada (EC 0.16 mS cm<sup>-1</sup>, pH 6.61) y perlita en proporción 3:1 en volumen. Se procedió al llenado de todas las macetas al mismo nivel y se regó para reducir el volumen de la mezcla.

### **4.5.2 Plantación**

En el ensayo de lechuga la plantación tuvo lugar el 9 de diciembre de 2011. Se trasplantaron las lechugas desde el semillero a las macetas y se colocaron cuatro plántulas en estadio de cuatro hojas por maceta, equidistantes entre ellas.

En el ensayo de espinaca la plantación tuvo lugar el 23 de diciembre. Se trasplantaron 3 plántulas en estadio de 4 hojas en cada maceta.

La diferencia de fechas entre lechuga y espinaca se debió a que el tamaño de plántula de la espinaca era muy pequeño, y para evitar problemas al trasplantarlas del semillero a las macetas se esperó hasta el 23 de diciembre.

### **4.5.3 Riego**

Tras la plantación se aplicaron riegos por goteo periódicamente, en función de las necesidades de los cultivos.

### **4.5.4. Tratamientos fitosanitarios**

No fue necesario realizar ningún tratamiento fitosanitario

### **4.5.5 Recolección**

La recolección se realizó de forma manual. Las plantas de lechuga fueron cosechadas en tres momentos diferentes. La primera recolección de lechugas se efectuó un mes después de la plantación (10/1/2012), en la cual se cosecharon 2 plantas.

La segunda recolección de lechugas se efectuó a los 54 días de la plantación (1/2/2012), durante la cual se cosechó una planta por cada maceta. La tercer y última recolección de lechugas tuvo lugar el 21 de febrero de 2012, a los 74 días de la plantación, durante la cual se cosechó una planta por cada maceta.

Las plantas de espinacas fueron cosechadas en un único momento el 6 de marzo de 2012, 105 días después de su plantación (23/12/2011).

#### **4.6 Cronograma del ensayo**

Los ensayos comenzaron el 30 de noviembre de 2011, y terminaron el 6 de marzo de 2012. Las labores necesarias para su realización junto con sus fechas correspondientes aparecen reflejadas en las tablas 10 y 11.

**Tabla 10.** Calendario de cultivo para el ensayo de lechuga

<b>Ensayo en lechuga</b>	
<b>Labor</b>	<b>Fecha</b>
Fertilización orgánica	30/11/2011
Plantación	9/12/2011
Fertilización mineral(1º)	20/12/2011
Aporte de micronutrientes	23/12/2011
1º cosecha	10/01/2012
Fertilización mineral(2º)	12/01/2012
2º cosecha	1/02/2012
3º cosecha	21/02/2012

**Tabla 11.** Calendario de cultivo para el ensayo de espinaca

<b>Ensayo en espinaca</b>	
<b>Labor</b>	<b>Fecha</b>
Fertilización orgánica	1/12/2011
Fertilización mineral(1º)	16/12/2011
Plantación	23/12/2011
Aporte de micronutrientes	23/12/2011
Fertilización mineral(2º)	12/01/2012
Cosecha	6/03/2012

## **4.7 Mediciones**

### 4.7.1. Producción de los cultivos

**Peso fresco:** en el momento de la recolección se determino el peso en fresco de la parte aérea de todas las plantas. Para ello se utilizó una balanza de precisión de cuatro decimales de la marca Sartorius. Una vez pesadas se introdujeron las muestras en sobres de papel.

**Peso seco:** se introdujeron las muestras en una estufa modelo ULM-400 (MEMMERT) (Figura 67) a 70°C durante 48 horas. Transcurrido ese tiempo se dejaron enfriar las muestras y se volvieron a pesar con la misma balanza.



**Figura 7.** Estufa utilizada en el ensayo.

**Materia seca.** A partir del peso fresco y el peso seco obtenidos se calculó el porcentaje de materia seca (sólidos totales) según la ecuación:

$$MS(\%) = \frac{\text{Peso fresco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

#### 4.7.2. Extracciones

##### **Análisis elementales**

Las muestras de la última cosecha de lechuga y de espinacas fueron enviadas al Laboratorio de Ionómica del Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura, del CSIC en Murcia, para determinar el contenido en macroelementos

Preparación de muestras: se trituraron las muestras con un molinillo hasta alcanzar un aspecto homogéneo.

##### Determinación:

El contenido en nitrógeno total se determinó mediante analizador elemental LECO (Figura 8).

La muestra se somete a una combustión con oxígeno puro (en el reactor de oxidación) a una temperatura de 900°C. Los diferentes productos de la combustión son transportados mediante el gas portador He y pasan a través de una columna de reducción (el reactor de reducción compuesto por cobre a una temperatura de 680 °C), obteniéndose los gases CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>, el H<sub>2</sub>O queda retenida en un filtro y el CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> posteriormente son separados selectivamente en columnas específicas para luego ser desorbidos térmicamente. Finalmente los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona unas señales directamente proporcionales a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la muestra.



**Figura 8.** Analizador LECO TRUSPEC CN utilizado por el CSIC.

El contenido en fósforo y potasio se analizó mediante ICP-OES (Figura 9). Las muestras sólidas requieren un tratamiento previo consistente en una digestión ácida con  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  en Ultraclave-Microondas Milestone. Una vez enrasadas las digestiones con agua milliq, están listas para su análisis por ICP. Para ello se pesan 0.1g de muestra sólida en el tubo de teflón del digestor y se le adicionan 4 ml de  $\text{HNO}_3$  PA-ISO 69 % y 1 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  33%. Se tapa el tubo de teflón y se pone en el reactor con una rampa de temperatura final de 20 minutos a 220°C. Una vez enfriado el reactor se enrasan los tubos a 25ml con agua milliq y ya están listos para ser medidos en los equipos de ICP-OES. (Thermo Elemental Co. Iris Intrepid II XDL

El ICP-OES es una técnica de análisis multielemental que utiliza una fuente de plasma de acoplamiento inductivo para disociar los átomos o iones que constituyen la muestra, excitándolos a un nivel donde emiten luz de una longitud de onda característica. Un detector mide la intensidad de la luz emitida y calcula la concentración de ese elemento, en particular, de la muestra.



**Figura 9.** Equipo ICP-OES IRIS INTREPID II XDL THERMO del CSIC.

### Cálculos

Las extracciones en mg/maceta de nitrógeno, fósforo y potasio se calcularon multiplicando las concentraciones por el peso seco de las lechugas y espinacas por maceta.

#### 4.7.3. Eficiencias en el uso de N, P y K.

Se calcularon las eficiencias en el uso de N, P, K proveniente de los abonos:

$$\text{NUE} = \frac{(\text{Mg de N/ maceta tratamiento X} - \text{Mg de N/maceta Control})}{\text{N aportado por el abono X}}$$

$$\text{PUE} = \frac{(\text{Mg de P/ maceta tratamiento X} - \text{Mg de P/maceta Control})}{\text{P aportado por el abono X}}$$

$$\text{KUE} = \frac{(\text{Mg de K/ maceta tratamiento X} - \text{Mg de K/maceta Control})}{\text{K aportado por el abono X}}$$

#### 4.7.4 Parámetros de calidad del cultivo:

La calidad de los cultivos es un aspecto fundamental en las producciones comerciales. El concepto de calidad ha evolucionado considerablemente durante los últimos años. Tradicionalmente la idea de calidad estaba asociada a la forma exterior como el tamaño, color u olor de un alimento. Sin embargo el consumidor actual valora que los alimentos tengan el máximo valor nutritivo y que el contenido de contaminantes sea mínimo. Con este fin se midió el índice colorimétrico Spad, y el contenido en nitratos y metales pesados.

##### 4.7.4.1. Spad

Se midió el índice colorimétrico SPAD con el medidor de clorofilas SPAD-502(Konica-Minolta, Osaka, Japan), como se ve en la figura 10. Este aparato mide la cantidad de clorofila en una hoja, cuyo valor esta relacionado con el estado nutricional nitrogenado de un cultivo. Es una técnica sencilla que se realiza in situ sin necesidad de cortar muestras de hoja, y muestra los resultados como valores SPAD.



**Figura 10.** Spad 502 utilizado en el ensayo.

En lechuga se midió al momento de la 1ª recolección y a los 49 días. En espinacas a los 36 y 71 días. El valor obtenido fue constituido por la media de 8 mediciones puntuales por maceta en las hojas jóvenes plenamente expandidas.

Es deseable que las plantas tengan una coloración adecuada para su puesta en el mercado. Por ello se determinó un valor SPAD mínimo de 15 en lechuga y 45 en espinaca, para ser clasificadas como comerciales. Para ser denominadas como comerciales se requirió que todas las repeticiones de un mismo tratamiento tuvieran un valor de SPAD igual o superior al mínimo establecido.

#### 4.7.4.2 Determinación de nitrato.

Se determinó el contenido en nitrato en muestra de la parte aérea de la 3ª cosecha de lechuga y de espinacas.

Extracción: se trituraron las muestras desecadas de lechuga y espinaca con un molinillo hasta alcanzar un aspecto homogéneo. Se pesó 0,5 gr de material vegetal seco y se añadió 100 ml de agua desionizada a 70°C durante 15 minutos, agitando manualmente periódicamente. Se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente y se filtraron con papel de filtro sobre un matraz aforado (Figura 11). Por último, se enrasaron las muestras a 100 ml con agua desionizada lavando el material vegetal y se congelaron para su posterior análisis (Irigoyen et al., 2006).



**Figura 11.** Molido y filtrado de las muestras.

Determinación: las muestras extraídas fueron analizadas por colorimetría utilizando un autoanalizador 3 (Bran + Luebbe TM). En este dispositivo el nitrato se reduce a nitrito con hidrazina en solución alcalina con un catalizador de cobre. El nitrito total reacciona con sulfanilamida y N-naftil-athylene-diamina (NEDD) en condiciones ácidas para formar un compuesto de color rosa, y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 550 nm. En lechuga esta determinación se llevo a cabo solo para las muestras de la tercera cosecha.

#### 4.7.4.3 Metales pesados

Se analizó el contenido en: Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Pb y Zn de las muestras de lechuga y espinaca.

Se analizaron siguiendo el mismo proceso que el fósforo y el potasio.

### 4.8 Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con ANOVA de un factor. Se utilizó el test SNK con un nivel de significación del 5%. Además se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) para las extracciones y eficiencias de NPK. Para realizar el tratamiento estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 21 para Windows. Las graficas y tablas se realizaron utilizando el programa Microsoft Excel 2010.



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

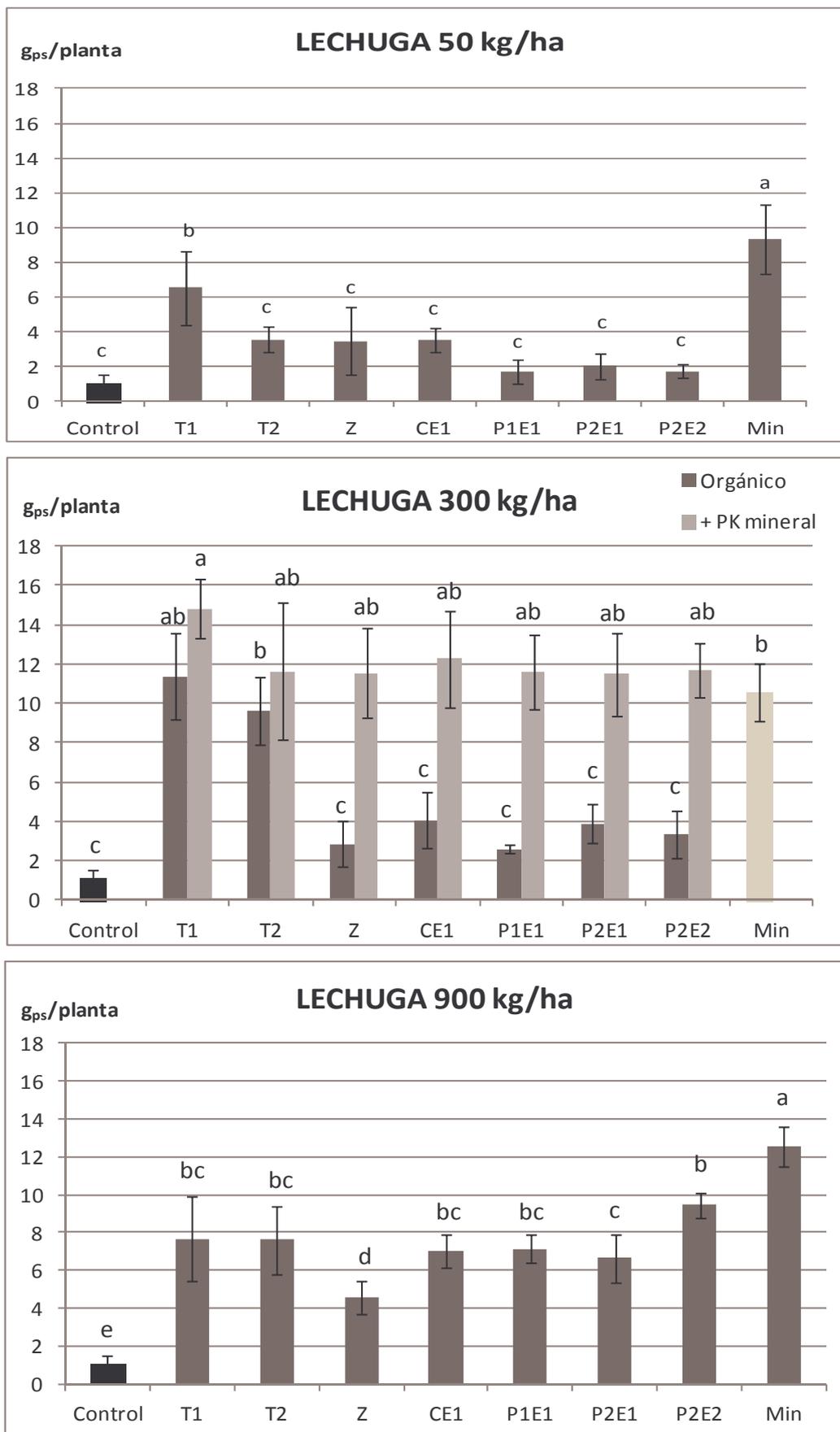
### 5.1 Producción de los cultivos

En ambos ensayos se ha observado que los efectos de los fertilizantes dependen de la dosis aplicada. Para las dosis de 300 y 900 kg N/ha todas las plantas de lechuga y espinaca se desarrollaron correctamente y alcanzaron la condición de comercial. Sin embargo, para la dosis de 50 kg N/ha únicamente las plantas tratadas con abono mineral alcanzaron la condición de comercial. Para el resto de tratamientos a esta dosis, las plantas presentaron deficiencias nutricionales que se tradujeron en tamaño reducido de las plantas y poca coloración.

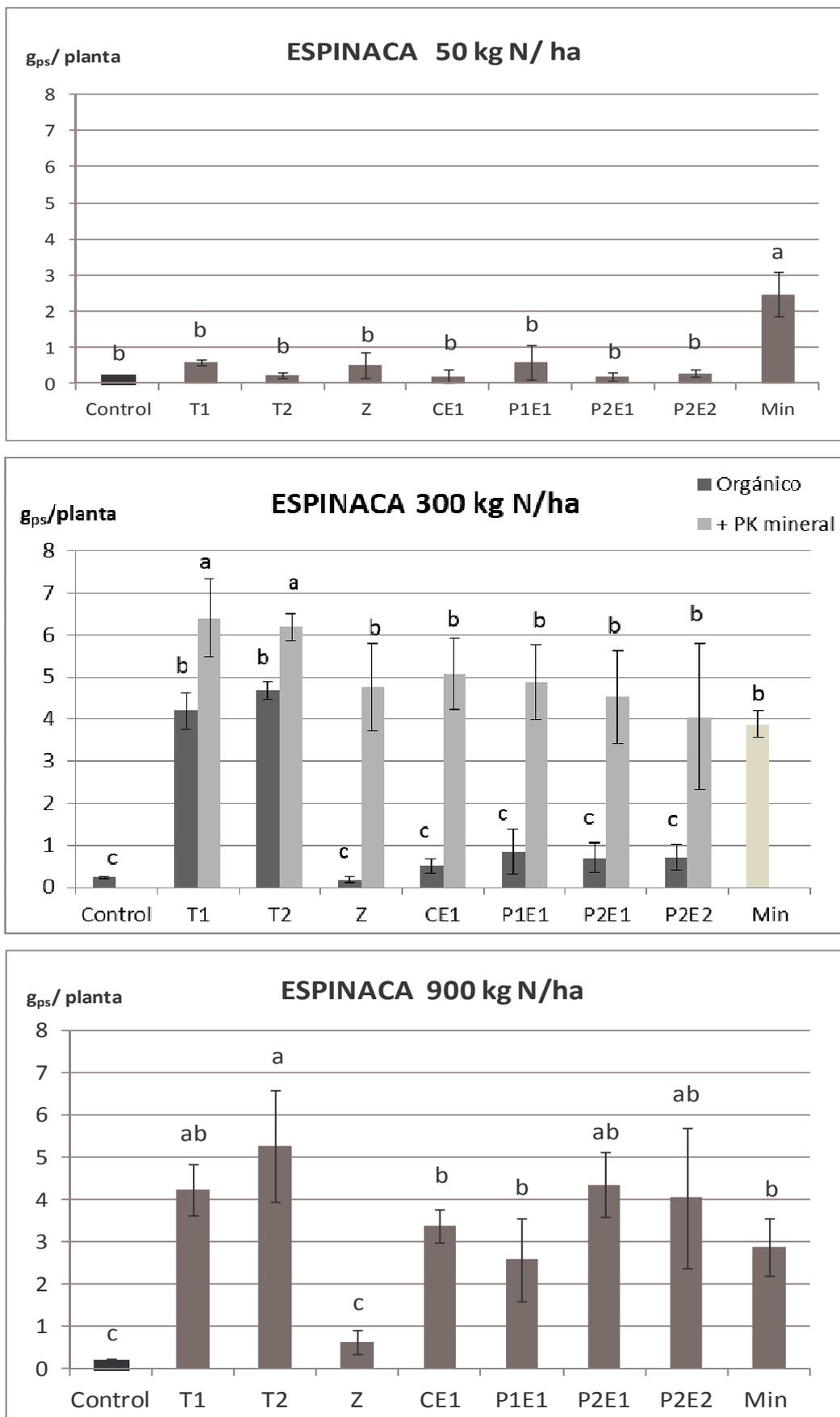
Los cuatro compost domésticos y el compost de zapatos (Z) presentaron unos resultados de producción en campo similares entre sí, e inferiores a los compost T1 y T2. Estos dos abonos comerciales produjeron unos efectos más similares a los producidos con el fertilizante mineral.

Los resultados de peso seco se muestran en las figuras 12 y 13. En el ensayo de lechuga se midió el peso seco de la tercera recolección, mientras que en el ensayo de espinaca se midió el peso seco de las tres espinacas por maceta, y posteriormente se calculó la media. En ambos casos los resultados se corresponden con las medias de las cuatro repeticiones.

Para la dosis de 50 kg N/ha en lechuga el mayor peso seco se obtuvo con el abono mineral seguido de T1, no habiendo diferencias significativas entre el resto de abonos (T2, Z y los cuatro compost domésticos) y el control. En el ensayo de espinaca no hubo diferencias significativas entre todos los abonos orgánicos y el control. Para la dosis de 300 kg N/ha se añadió otro tratamiento al que se aplicó fósforo y potasio en forma mineral (PK mineral) y otros nutrientes (Ver figura 5), con el fin de detectar posibles efectos limitantes de otros nutrientes. En el ensayo de lechuga se observa que no existen diferencias significativas entre todos los abonos orgánicos con PK mineral. Los compost industriales T1 y T2 produjeron pesos secos similares entre los tratamientos con y sin PK mineral. En los compost domésticos y Z si existen diferencias entre los tratamientos con y sin PK mineral.



**Figura 12.** Peso seco de la tercera recolección de lechuga. Los resultados se corresponden con la media aritmética de las cuatro repeticiones. Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$ .



**Figura 13.** Peso seco medio de la recolección en espinaca. Los resultados se corresponden con la media de las cuatro repeticiones. Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$ .

En el ensayo de espinaca hubo diferencias significativas entre los compost T1 y T2 con PK mineral, y el resto de tratamientos con PK mineral. También hubo diferencias significativas entre los tratamientos con y sin PK mineral. En ambos ensayos, todas las plantas tratadas con los abonos orgánicos y PK mineral obtuvieron un peso seco superior a las plantas tratadas con abono mineral.

Comparando los tratamientos con y sin PK mineral, se observa que puede existir algún nutriente como el fósforo o el potasio que está ejerciendo un efecto limitante sobre la producción en ambos cultivos en los compost domésticos y Z. Esto puede deberse a que su concentración en dichos compost es muy pequeña o que no se encuentran en formas disponibles para las plantas.

Para la dosis de 900 kg N/ ha el abono mineral obtuvo el mayor peso seco en lechuga. En espinaca los mayores pesos secos se obtuvieron con los compost T1, T2, P2E1 y P2E2, superando al abono mineral. Tanto en lechuga como en espinaca los compost domésticos produjeron un incremento considerable de peso seco, siendo similares a T1 y T2. El compost Z no aumento el peso seco en ninguno de los tratamientos.

Los resultados obtenidos muestran que los fertilizantes orgánicos pueden producir producciones similares o superiores a los fertilizantes minerales. En el ensayo de lechuga las mayores producciones se obtuvieron con el fertilizante mineral, seguido de los compost industriales T1 y T2. Sin embargo, en el ensayo de espinaca T2 y T1 produjeron las mayores producciones para las dosis de 300 y 900 kg N/ha, superando al abono mineral. Otros estudios también han demostrado que los fertilizantes orgánicos pueden producir cosechas similares a los abonos minerales (Herencia et al., 2007; Hunter et al., 2011).

Para el tratamiento de 300kg/ha con PK mineral, los compost domésticos han igualado al abono mineral. Por tanto estos abonos pueden reducir el uso de nitrógeno mineral como fertilizante y evitar los problemas que conlleva. Elherradi et al., 2005 también observó esto en lechuga. Con el fin de comparar los efectos de los diferentes abonos entre dosis, se han representado los pesos frescos en lechuga (Figuras 14 y 15) y espinaca (Figuras 16 y 17).

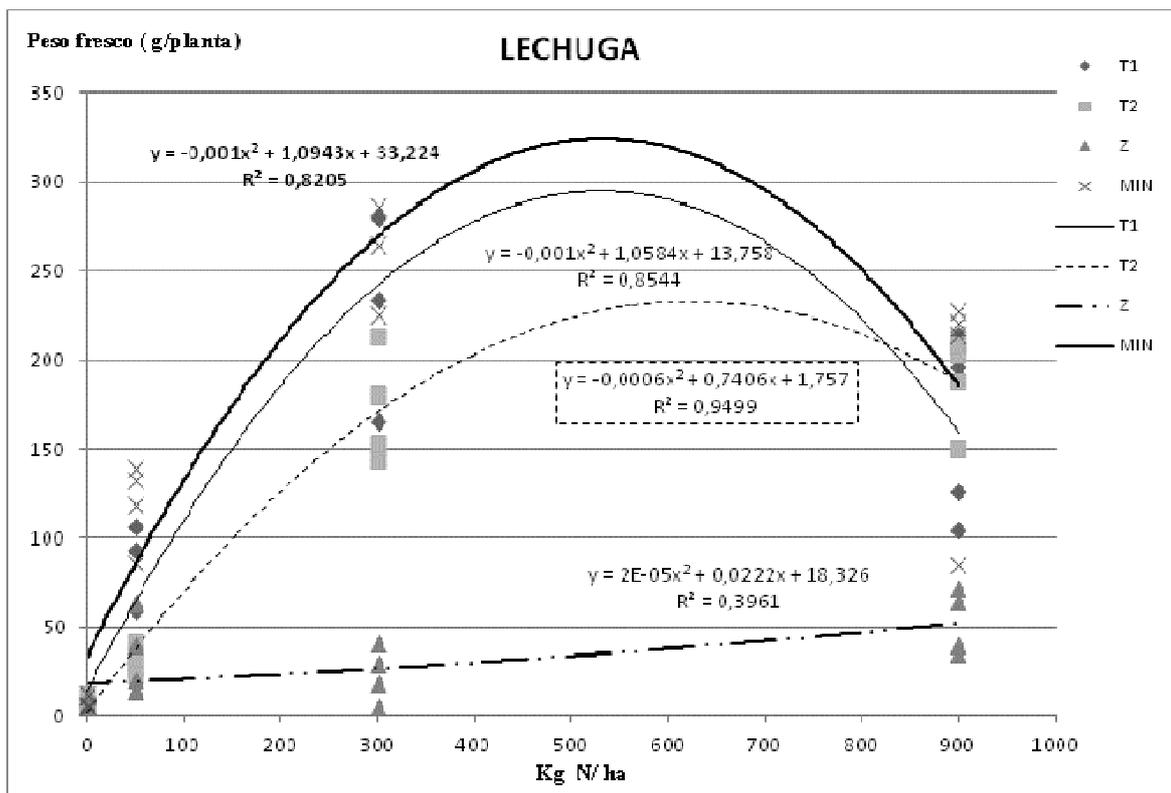


Figura 14. Respuesta de la lechuga a distintas dosis de N para los compost industriales y el abono mineral.

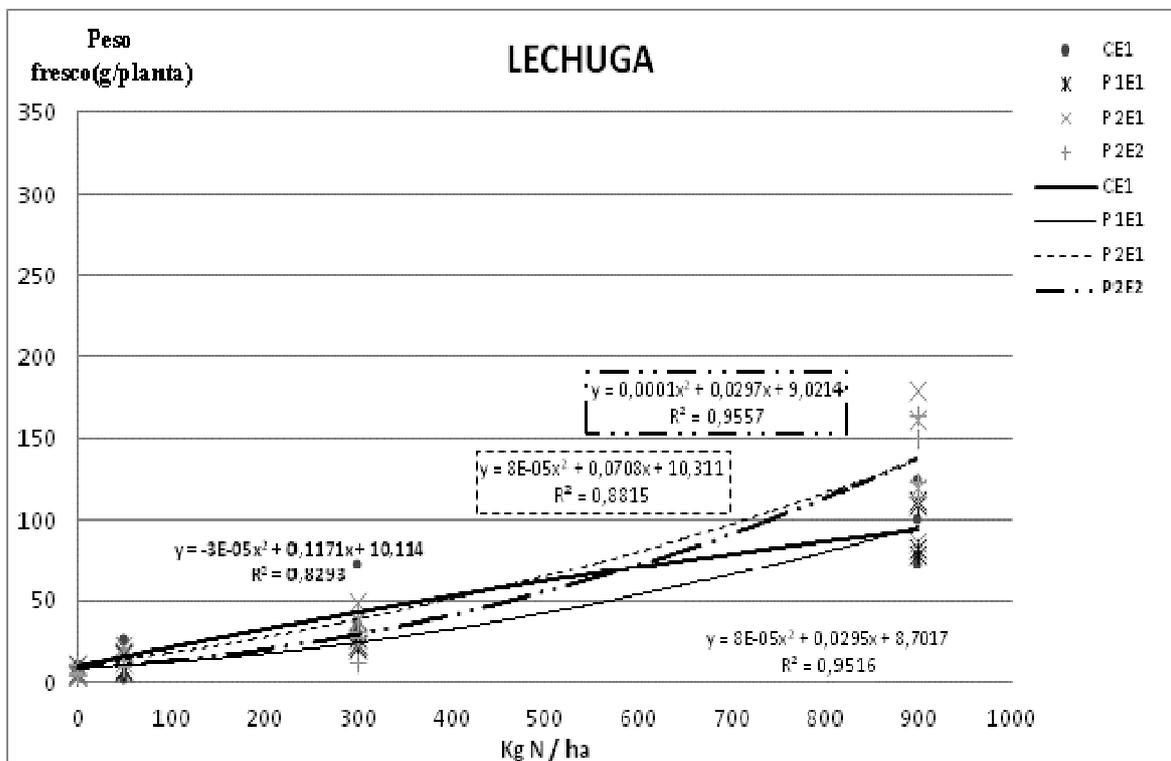
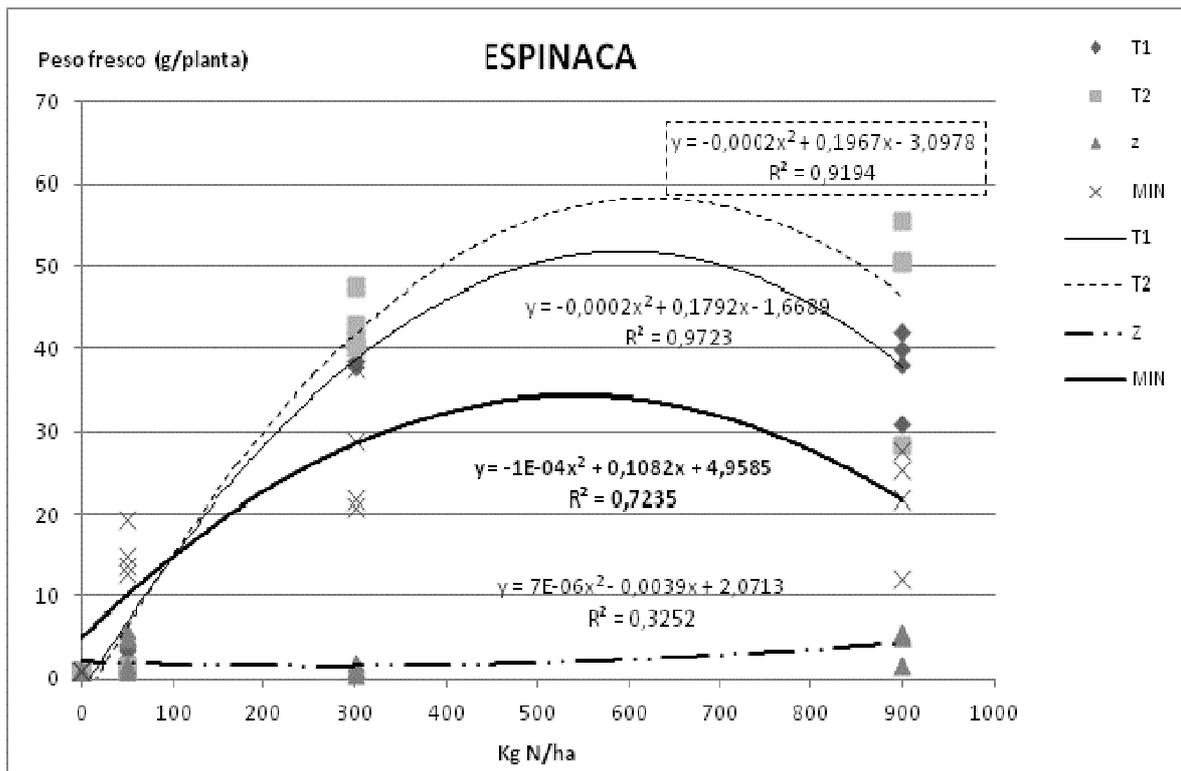
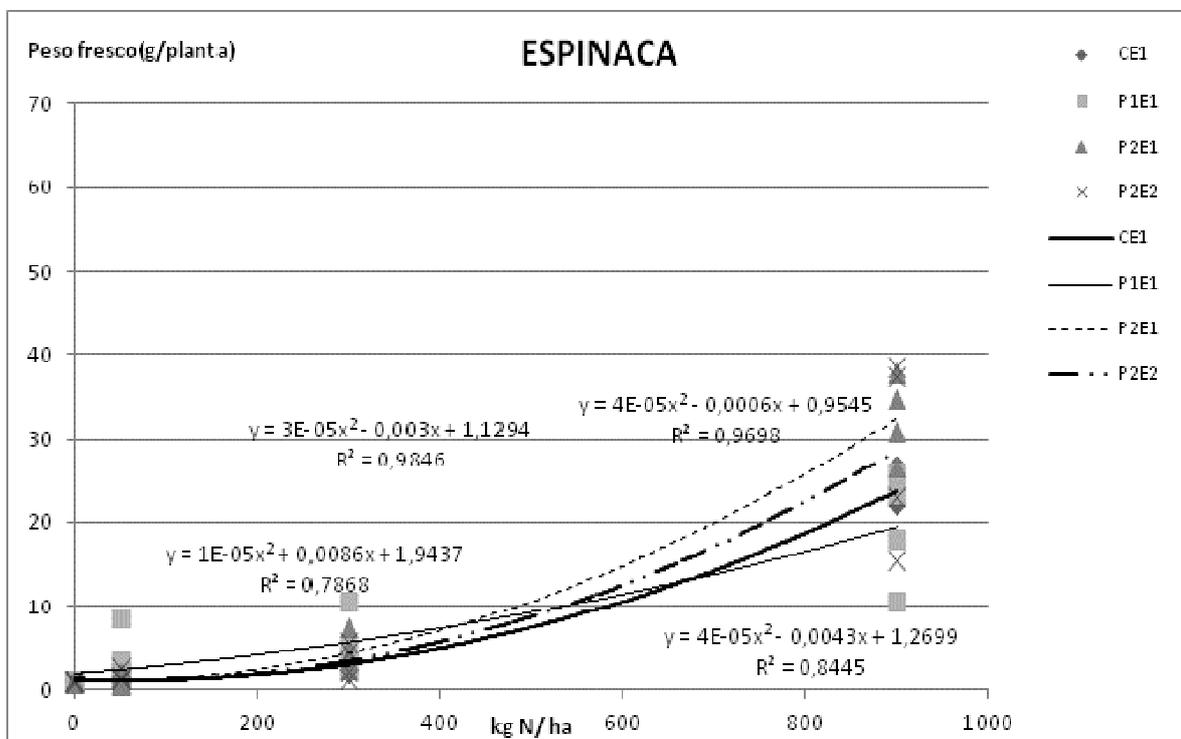


Figura 15. Respuesta de la lechuga a distintas dosis de N para los compost domésticos.



**Figura 16.** Respuesta de la espinaca a distintas dosis de N para los compost industriales y el abono mineral.



**Figura 17.** Respuesta de la espinaca a distintas dosis de N para los compost domésticos.

Tanto en lechuga como en espinaca la producción decreció en la dosis de 900 kg N/ha para los compost T1 y T2 y el abono mineral, siendo la producción máxima para la dosis de 300 kg N /ha. Este hecho también fue observado por Ragályi y Kádár (2012) para dosis elevadas de compost en triticale. Esta respuesta de los compost T1 y T2 puede deberse a problemas pueden deberse a problemas de fitotoxicidad o salinidad.

Los compost domésticos junto con el compost de zapatos (Z) presentaron un aumento exponencial de las producciones conforme aumentó la dosis de nitrógeno, no observando ningún efecto negativo para las dosis más elevadas.

Los compost con un contenido superior de residuos cárnicos (P2E1 y P2E2) obtuvieron una producción superior al compost de residuos vegetales (CE1y P1E1) para la dosis de 900 kg N/ha en ambos cultivos. Por tanto el uso de residuos cárnicos no interfirió de el desarrollo de las plantas, sino que incrementó la producción para la dosis de 900 kg N/ha. Otros ensayos realizados hasta la fecha, tampoco han observado una respuesta negativa de fertilizantes orgánicos con residuos cárnicos (Brod *et al.*, 2012; Ragályi y Kádár, 2012).

Por tanto puede observarse que la respuesta de los cultivos a los fertilizantes orgánicos está más relacionada con el proceso de compostaje y la disponibilidad de nutrientes que con el tipo de residuos utilizados. Los compost T1 y T2 que han seguido un proceso similar tienen la misma respuesta agronómica y los compost domésticos, que aun teniendo una composición diferente, tienen una respuesta agronómica similar.

## **5.2 Extracción de los cultivos**

Los resultados obtenidos (Tabla 12) muestran que las extracciones dependen de la dosis aplicada y de la disponibilidad de nutrientes de los compost. Los compost industriales T1 y T2 produjeron unas extracciones similares al abono mineral para las dosis superiores. Los compost domésticos presentaron unos resultados similares entre sí. El compost de zapatos (Z) fue el que produjo menores extracciones de NPK para todas las dosis, posiblemente debido a su relación C/N o bajo contenido en nutrientes.

Para la dosis más baja (50 kg N/ha), el abono mineral obtuvo las mayores extracciones tanto en lechuga como en espinaca para los tres elementos. Para dicha dosis se observaron diferencias significativas entre el tratamiento mineral y el resto de tratamientos para los tres elementos. Exceptuando la extracción de potasio en lechuga, donde no se observaron diferencias significativas entre el abono mineral y el compost T1.

Para la dosis intermedia de 300 kg N/ha el abono mineral obtuvo las mayores extracciones de nitrógeno y fósforo en ambos cultivos. En el caso del potasio las mayores extracciones se produjeron con el compost T1 en lechuga y espinaca.

Para la dosis de 900 kg N/ha en lechuga el abono mineral produjo las mayores extracciones de nitrógeno y fósforo. En el caso del potasio el abono mineral fue superado por todos los compost orgánicos, a excepción del compost Z. En espinaca el abono mineral fue superado por los abonos orgánicos en los tres elementos.

El tratamiento con 300 kg N/ha y PK en forma mineral mejoró considerablemente las extracciones de los abonos orgánicos, especialmente de los compost domésticos. En lechuga mayores extracciones de nitrógeno y fósforo fueron observadas con el abono mineral. En espinaca los compost mejoraron las extracciones con respecto al tratamiento con abono mineral.

Comparando los tratamientos entre sí se observa que en lechuga el abono mineral produjo las mejores extracciones para todas las dosis. Mientras que en el fósforo esto solo ocurrió para la dosis más baja. En espinaca al abono mineral produjo las mayores extracciones solo para la dosis más baja. Para las dosis intermedia y superior el abono mineral fue superado por los abonos orgánicos.

Tabla 12. Extracciones de N, P y K en lechuga y espinaca.

Tratamiento	LECHUGA			Tratamiento	ESPINACA		
	N	P	K		N	P	K
	------(mg/maceta) -----				------(mg/maceta) -----		
<b>CE1 50</b>	75(c) <sup>1</sup>	17(c)	175(b)	<b>CE1 50</b>	7(b)	6(b)	74(bcd)
<b>P1E1 50</b>	40(c)	9(c)	96(b)	<b>P1E1 50</b>	29(b)	16(b)	181(b)
<b>P2E1 50</b>	49(c)	11(c)	141(b)	<b>P2E1 50</b>	7(b)	4(b)	55(cd)
<b>P2E2 50</b>	42(c)	10(c)	116(b)	<b>P2E2 50</b>	12(b)	6(b)	69(bcd)
<b>T1 50</b>	138(b)	31(b)	306(a)	<b>T1 50</b>	24(b)	10(b)	157(bc)
<b>T2 50</b>	81(c)	17(c)	171(b)	<b>T2 50</b>	11(b)	4(b)	62(bcd)
<b>Z 50</b>	70(c)	15(c)	143(b)	<b>Z 50</b>	30(b)	10(b)	118(bcd)
<b>Mineral 50</b>	236(a)	55(a)	345(a)	<b>Mineral 50</b>	138(a)	96(a)	351(a)
<b>Control</b>	33(c)	2(c)	71(b)	<b>Control</b>	7(b)	1(b)	20(d)
<b>CE1 300</b>	89(d)	23(cd)	246(d)	<b>CE1 300</b>	17(c)	16(cd)	194(bc)
<b>P1E1 300</b>	69(d)	19(cd)	220(ed)	<b>P1E1 300</b>	34(c)	24(c)	215(bc)
<b>P2E1 300</b>	91(d)	24(cd)	276(d)	<b>P2E1 300</b>	28(c)	20(c)	187(bc)
<b>P2E2 300</b>	72(d)	19(cd)	207(ed)	<b>P2E2 300</b>	25(c)	16(cd)	183(bc)
<b>T1 300</b>	618(b)	59(b)	1082(a)	<b>T1 300</b>	508(b)	48(b)	1246(a)
<b>T2 300</b>	469(c)	29(c)	692(b)	<b>T2 300</b>	567(ab)	55(ab)	1257(a)
<b>Z 300</b>	71(d)	16(cd)	164(ed)	<b>Z 300</b>	6(c)	7(de)	72(cd)
<b>Mineral 300</b>	770(a)	113(a)	457(c)	<b>Mineral 300</b>	599(a)	60(a)	286(b)
<b>Control</b>	33(d)	2(d)	71(e)	<b>Control</b>	7(c)	1(e)	20(d)
<b>CE1 +PK</b>	520(b)	106(ab)	1034(c)	<b>CE1 +PK</b>	518(b)	115(ab)	1035(bc)
<b>P1E1+PK</b>	527(b)	101(ab)	881(c)	<b>P1E1+PK</b>	461(b)	109(ab)	948(bcd)
<b>P2E1+PK</b>	704(b)	139(a)	1034(c)	<b>P2E1+PK</b>	422(b)	89(ab)	818(cd)
<b>P2E2+PK</b>	684 (b)	137(a)	970(c)	<b>P2E2+PK</b>	351(b)	95(ab)	646(d)
<b>T1+PK</b>	989(a)	145(a)	1852(a)	<b>T1+PK</b>	1078(a)	104(ab)	1345(a)
<b>T2 +PK</b>	795(ab)	75(b)	1398(b)	<b>T2 +PK</b>	916(a)	75(ab)	1210(ab)
<b>Z+PK</b>	531(b)	104(ab)	733(c)	<b>Z+PK</b>	597(b)	139(a)	770(cd)
<b>Mineral 300</b>	770(ab)	113(ab)	457(d)	<b>Mineral 300</b>	599(b)	60(b)	286(e)
<b>Control</b>	33(c)	2(c)	71(e)	<b>Control</b>	7(b)	1(c)	20(f)
<b>CE1 900</b>	248(c)	57(b)	707(ab)	<b>CE1 900</b>	188(cd)	86(ab)	1154(ab)
<b>P1E1 900</b>	278(c)	61(b)	786(a)	<b>P1E1 900</b>	162(cd)	63(abc)	654(cd)
<b>P2E1 900</b>	289(c)	72(b)	981(a)	<b>P2E1 900</b>	348(bc)	114(a)	1161(ab)
<b>P2E2 900</b>	264(c)	61(b)	788(a)	<b>P2E2 900</b>	281(cd)	97(ab)	899(bc)
<b>T1 900</b>	527(b)	59(b)	649(ab)	<b>T1 900</b>	734(a)	68(abc)	1125(ab)
<b>T2 900</b>	479(b)	49(b)	694(ab)	<b>T2 900</b>	767(a)	63(abc)	1517(a)
<b>Z 900</b>	120(d)	26(c)	259(cd)	<b>Z 900</b>	27(d)	26(cd)	298(de)
<b>Mineral 900</b>	989(a)	96(a)	443(bc)	<b>Mineral 900</b>	531(ab)	51(bc)	270(de)
<b>Control</b>	33(d)	2(d)	71(d)	<b>Control</b>	7(d)	1(d)	20(e)
<b>(LSD)<sup>2</sup></b>	<b>104</b>	<b>16</b>	<b>149</b>	<b>(LSD)<sup>2</sup></b>	<b>141</b>	<b>30</b>	<b>222</b>

<sup>1</sup> Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$ , para la misma dosis.

<sup>2</sup> Diferencia mínima significativa entre todos los tratamientos para todas las dosis.

### **5.3 Eficiencias en el uso de N, P y K**

En el ensayo de lechuga el abono mineral obtuvo los mayores valores de NUE para todas las dosis, excepto para la dosis de 300 kg N/ha con PK mineral (Tabla 13). El abono mineral fue el que también había producido mayores extracciones de nitrógeno en todos los tratamientos de lechuga (Apartado 5.2). En espinaca el abono mineral sólo obtuvo los NUE más altos para las dosis de 50 y 300 kg N/ha, siendo superado en los tratamientos de 300 con PK y 900 por los compost T1 y T2. Comparando las distintas dosis entre sí, en lechuga la mayor eficiencia se observó para las dosis más baja con el tratamiento mineral. En este caso su valor NUE fue del 83%. En espinaca el mayor NUE fue producido por el compost T1 para la dosis de 300 kg N/ha con PK mineral siendo, 73%.

Las mayores eficiencias del fósforo se obtuvieron para el abono mineral en todos los casos tanto en lechuga y como en espinaca. Las eficiencias de los abonos orgánicos fueron muy bajas para todas las dosis, no superando el 10%. El aporte de PK mineral mejoró las eficiencias de los abonos orgánicos de forma significativa. Los valores más altos de PUE fueron de 21% en lechuga (300kg N/ha) y 18% en espinaca (50kg N/ha)

En el caso del potasio, el abono mineral sólo obtuvo la mayor eficiencia en lechuga para la dosis de 900 kg N/ha. Para la dosis de 50kg/ha el compost Z obtuvo los valores más altos en ambos cultivos. Sin embargo estos valores no se repitieron para las dosis de 300 y 900 kg N /ha. Para estas dosis T1 y T2 obtuvieron las mayores eficiencias.

Se puede concluir que el abono mineral produjo mejores eficiencias en el uso de nitrógeno para la dosis más baja. A esta dosis el compost Z produjo la mayor eficiencia en el uso del potasio. El aporte de PK mineral mejoró considerablemente las eficiencias de los tres nutrientes en ambos cultivos. De nuevo se observa un efecto limitante sobre los compost domésticos y Z especialmente. Comparando los efectos de los compost domésticos, se ha observado que la presencia de residuos cárnicos no tuvo efectos negativos, puesto que no hubo diferencias significativas entre los cuatro compost domésticos para ninguna dosis en ambos cultivos.

Tabla 13. Ratios de eficiencia en lechuga y espinaca.

Tratamiento	LECHUGA			tratamiento	ESPINACA		
	NUE	PUE	KUE		NUE	PUE	KUE
	----- (%)-----				----- (%)-----		
CE1 50	18(c) <sup>1</sup>	5(bc)	47(a)	CE1 50	<1(b)	2(b)	24(b)
P1E1 50	3(c)	2(c)	12(a)	P1E1 50	9(b)	5(b)	76(ab)
P2E1 50	7(c)	3(c)	38(a)	P2E1 50	<1(b)	<1(b)	19(b)
P2E2 50	4(c)	3(c)	34(a)	P2E2 50	2(b)	2(b)	37(b)
T1 50	43(b)	2(c)	36(a)	T1 50	7(b)	1(b)	21(b)
T2 50	19(c)	2(c)	59(a)	T2 50	2(b)	<1(b)	25(b)
Z 50	15(c)	8(ab)	85(a)	Z 50	9(b)	6(b)	>100(a)
Mineral 50	83(a)	10(a)	40(a)	Mineral 50	53(a)	18(a)	48(b)
CE1 300	4(d)	1(b)	13(b)	CE1 300	1(c)	1(b)	13(d)
P1E1 300	2(d)	1(b)	12(b)	P1E1 300	2(c)	1(b)	15(d)
P2E1 300	4(d)	1(b)	18(b)	P2E1 300	1(c)	1(b)	15(d)
P2E2 300	3(d)	1(b)	17(b)	P2E2 300	1(c)	1(b)	21(cd)
T1 300	40(b)	1(b)	26(b)	T1 300	34(b)	1(b)	32(bc)
T2 300	30(c)	1(b)	61(a)	T2 300	38(ab)	1(b)	>100(a)
Z 300	3(d)	1(b)	18(b)	Z 300	<1(c)	1(b)	10(d)
Mineral 300	50(a)	21(a)	56(a)	Mineral 300	40(a)	11(a)	38(b)
CE1 +PK	33(b)	4(bc)	48(bcd)	CE1 +PK	35(b)	5(b)	50(ab)
P1E1+PK	34(b)	4(bc)	41(cd)	P1E1+PK	31(b)	5(b)	47(ab)
P2E1+PK	46(b)	6(bc)	69(b)	P2E1+PK	29(b)	4(b)	44(ab)
P2E2+PK	44(b)	7(b)	60(bc)	P2E2+PK	24(b)	5(b)	42(ab)
T1+PK	65(a)	2(c)	88(a)	T1+PK	73(a)	1(b)	65(a)
T2 +PK	52(ab)	1(c)	67(b)	T2 +PK	62(a)	2(b)	60(ab)
Z+PK	34(b)	7(b)	37(d)	Z+PK	40(b)	9(a)	41(ab)
Mineral 300	50(ab)	21(a)	56(bcd)	Mineral 300	41(b)	11(a)	38(b)
CE1 900	5(c)	1(b)	16(bcd)	CE1 900	4(cd)	2(b)	28(b)
P1E1 900	6(c)	1(b)	19(bc)	P1E1 900	4(cd)	1(b)	17(bc)
P2E1 900	6(c)	1(b)	27(b)	P2E1 900	8(bc)	2(b)	34(ab)
P2E2 900	5(c)	1(b)	30(b)	P2E2 900	6(bcd)	2(b)	37(ab)
T1 900	11(b)	<1(b)	5(d)	T1 900	16(a)	<1(b)	10(c)
T2 900	10(b)	<1(b)	20(bc)	T2 900	17(a)	<1(b)	49(a)
Z 900	2(c)	1(b)	12(cd)	Z 900	<1(cd)	1(b)	18(bc)
Mineral 900	22(a)	18(a)	54(a)	Mineral 900	12(ab)	9(a)	36(ab)
(LSD) <sup>2</sup>	12	2	26	(LSD) <sup>2</sup>	9	2	28

<sup>1</sup> Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$ , para la misma dosis.

<sup>2</sup> Diferencia mínima significativa entre todos los tratamientos

## **5.4 Parámetros de calidad**

### 5.4.1. Spad y contenido de nitrato

Como puede observarse en la tabla 14 los abonos orgánicos consiguieron la condición de comercial para las dosis más altas, mientras que el abono mineral obtuvo valores de SPAD superiores al mínimo establecido en todos los tratamientos.

Para la dosis de 50 kg N/ha únicamente el abono mineral consiguió la condición de comercial. En el resto de tratamientos el valor de Spad fue inferior al valor mínimo establecido, por lo que fueron no comerciales.

Para la dosis de 300 kg N/ha el abono mineral y T2 consiguieron el carácter de comercial en ambos cultivos. En el tratamiento de PK mineral todos los abonos consiguieron la condición de comercial.

Para la dosis de 900 kg N/ha todos los tratamientos consiguieron el carácter comercial a excepción de Z tanto en lechuga como en espinaca.

El contenido en nitrato es un parámetro de calidad de gran preocupación entre los consumidores, debido a los efectos nocivos que un consumo excesivo puede provocar en la salud (ver apartado 3.4.2). El nivel de nitrato fue inferior al límite detectable (5 mg/kg) para los controles de ambos ensayos. Los mayores contenidos en nitrato se observaron en los compost industriales T1 y T2 para las dosis más elevadas. En espinaca el contenido en nitratos fue superior a la normativa en los compost industriales T1 y T2 para los tratamientos de 300 kg N/ha con PK mineral y de 900 kg N/ha. El contenido de nitrato más bajo se presentó en los compost domésticos y Z para todos los tratamientos.

No se puede concluir que los abonos orgánicos produzcan un contenido de nitrato inferior a los minerales. Otros estudios realizados hasta la fecha también han mostrado discrepancias acerca de esta afirmación (Pavlou *et al.*, 2006). Sin embargo a la luz de los resultados obtenidos se ha observado que el contenido en nitrato depende del tipo de fertilizante.

Tabla 14. Contenido de nitratos y Spad en lechuga y espinaca

TRATAMIENTO	LECHUGA		ESPINACA	
	Nitrato (No <sub>3</sub> ) mg/maceta	SPAD	Nitrato (No <sub>3</sub> ) mg/maceta	SPAD
CE1 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
P1E1 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
P2E1 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
P2E2 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
T1 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
T2 - 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
Z- 50	No comercial	< 15	No comercial	< 45
mineral 50	55 (c) (1)	18.8 (ab)	43 (d)	44.8 (f)
CE1- 300	6 (c)	15.6 (b)	No comercial	< 45
P1E1- 300	9 (c)	16.6 (ab)	No comercial	< 45
P2E1- 300	10 (c)	16.7 (ab)	No comercial	< 45
P2E2 - 300	No comercial	< 15	No comercial	< 45
T1- 300	No comercial	< 15	449 (c)	59.5 (bc)
T2 - 300	509 (c)	18.4 (ab)	780 (c)	58.0 (bc)
Z - 300	No comercial	< 15	No comercial	< 45
mineral 300	459 (c)	18.5 (ab)	1494 (cd)	63.0 (ab)
CE1+PK	79 (c)	15.9 (b)	448 (c)	57.1 (bcd)
P1E1+PK	251 (c)	18.2 (ab)	366 (c)	55.4 (bcde)
P2E1+PK	144 (c)	17.8 (ab)	167 (c)	55.1 (bcde)
P2E2 +PK	195(c)	18.1 (ab)	107 (c)	56.1 (bcde)
T1+PK	867 (bc)	18.6 (ab)	9894 (a)	60.4 (abc)
T2 +PK	1123 (b)	16.6 (ab)	6664 (b)	60.6 (abc)
Z +PK	171 (c)	18.2 (ab)	563 (c)	61.9 (ab)
CE1 -900	8 (c)	18.5 (ab)	79 (c)	49.5 (def)
P1E1- 900	9 (c)	15.9 (b)	25 (c)	48.0 (f)
P2E1 - 900	8 (c)	19.0 (ab)	43 (c)	52.2 (cde)
P2E2 - 900	34 (c)	15.8 (b)	35 (c)	48,7 (ef)
T1- 900	1153 (b)	17.8 (ab)	5198 (bc)	63.8 (ab)
T2 - 900	767 (bc)	17.8 (ab)	3689 (bcd)	62.0 (ab)
Z - 900	No comercial	< 15	No comercial	< 45
mineral 900	2001(a)	22.2 (a)	2933 (cd)	67.8 (a)
control	No comercial	< 15	No comercial	< 45

<sup>1</sup> Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$  entre todas las dosis.

#### 5.4.2. Metales pesados

El contenido en metales pesados fue inferior a los límites establecidos por la legislación europea para todas las dosis tanto en lechuga como en espinaca (Reglamento (CE) nº 1881/2006). No se observaron síntomas de fitotoxicidad por metales pesados como quemaduras, clorosis o amarilleo de hojas en ningún tratamiento.

En lechuga (Tabla 15) no hubo diferencias significativas entre todas las dosis y el control para Al, As, Cd, Co, Cr, Fe, y Ni. El Cu, Pb y Zn presentó diferencias significativas entre el tratamiento con compost P1E1 a 900 kg N/ha y el resto de tratamientos. El manganeso presentó diferencias significativas entre el control y la mayoría de tratamientos.

En espinaca (Tabla 16) no hubo diferencias significativas entre tratamientos en Al, Cd, Fe y Mn. Para el resto de metales pesados hubo diferencias entre algunos tratamientos. En el caso del Co el control presentó un contenido superior que el resto de tratamientos.

Comparando los resultados obtenidos con otros estudios realizados se observa que el contenido en metales pesados fue bajo, tanto para el cultivo de lechuga como en espinaca (Pillay y Jonnalagadda, 2007; Matallana *et al.*, 2010).

En el presente ensayo no se ha observado una relación significativa entre el contenido de metales pesados en los compost y su absorción por las plantas. Por consiguiente es difícil predecir el impacto que los niveles de metales pesados de los abonos orgánicos pueden ejercer sobre los cultivos tomando únicamente como referencia su concentración en los mismos. Como se he explicado en el apartado 3.3.1 la disponibilidad de los metales pesados depende de muchos factores además de su concentración. Desde los resultados conseguidos en el ensayo no se puede determinar que los abonos orgánicos incrementen el contenido de metales pesados a corto plazo, debido a que no existe una correlación entre el contenido de metales pesados en las hojas y la concentración del suelo a corto plazo.

Sin embargo, en algunos estudios realizados a largo si se han observado que los abonos orgánicos pueden reducen el contenido de metales pesados en los cultivo debido a sus efectos sobre las propiedades del suelo (Gawęda y Nizioł-Łukaszewska, 2010)

De las Heras *et al.*(2005) señalan que no solo hay que tener en cuenta el contenido en metales pesados en los compost, sino otros factores como el pH del suelo o su contenido en materia orgánica para prevenir niveles tóxicos de metales pesados en los tejidos foliares.

**Tabla 15.** Contenido de metales pesados en lechuga.

Tratamiento	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	-----Mg/Kg-----										
T1 50	45,5 a(1)	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	3,6 a	57,2 a	63,2 c	0,5 a	1,0ab	33,4b
T2 50	80,2 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	4,4 a	64,4 a	68,2 bc	0,5 a	0,5b	27,5b
Z 50	113,1 a	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,8 a	3,8 a	96,7 a	70,7 bc	0,5 a	1,4ab	37,5b
CE1 50	56,6 a	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	6,5 a	53,8 a	78,7bc	0,5 a	1,5ab	33,1b
P1E1 50	57,0 a	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	4,5 a	64,3 a	88,6abc	0,5 a	1,4ab	40,2b
P2E1 50	77,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,7 a	4,8 a	74,2 a	72,2bc	0,6 a	1,3ab	45,8b
P2E2 50	45,2 a	0,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	3,7 a	51,3 a	77,2bc	0,5 a	1,6ab	35,8b
Mineral 50	124,4 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,8 a	5,0 a	141,7 a	54,4c	0,7 a	0,8ab	32,8b
T1 300	105,1 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	14,8 a	130,4 a	108,5ab	0,5 a	1,3ab	136,3b
T2 300	173,1 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	4,7 a	104,2 a	63,8c	0,5 a	1,1ab	62,0b
Z 300	129,1 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,9 a	5,3 a	140,2 a	62,4c	0,7 a	1,5ab	58,1b
CE1 300	33,3 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	2,8 a	38,6 a	69,2bc	0,5 a	1,3ab	33,6b
P1E1 300	190,9 a	0,8 a	0,5 a	0,5 a	1,1 a	15,0 a	177,7 a	72,2bc	0,8 a	2,2ab	87,7b
P2E1 300	64,2 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	2,8 a	60,5 a	54,1c	0,5 a	0,9ab	33,2b
P2E2 300	68,7 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	4,0 a	63,0 a	56,1c	0,5 a	0,9ab	35,3b
Mineral 300	73,8 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,8 a	5,7 a	121,4 a	76,1bc	0,5 a	0,9ab	53,3b
T1 900	99,1 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	7,7 a	97,3 a	109,7ab	0,5 a	0,7ab	117,8b
T2 900	189,7 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,7 a	7,1 a	128,4 a	78,7bc	0,5 a	1,8ab	91,4b
Z 900	237,2 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	1,0 a	11,9 a	220,1 a	54,3c	0,8 a	1,7ab	85,6b
CE1 900	64,9 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	6,0 a	64,1 a	51,3c	0,5 a	1,2ab	51,1b
P1E1 900	48,2 s	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	41,6 b	61,6 a	56,5c	0,5 a	2,8 a	287,6 a
P2E1 900	36,0 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	6,4 a	52,7 a	60,1c	1,1 a	1,0ab	70,1b
P2E2 900	72,1 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	7,4 a	84,5 a	44,0c	0,5 a	0,7b	50,6b
Mineral 900	197,8 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	1,5 a	12,5 a	230,2 a	54,5c	1,0 a	1,7ab	45,5b
T1 + pk	74,3 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,7 a	7,0 a	115,8 a	85,7abc	0,5 a	1,2ab	98,2b
T2 + pk	125,0 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,9 a	7,4 a	113,1 a	61,1c	0,6 a	1,0ab	91,7b
Z+ pk	79,5 a	0,5 a	0,5a	0,5 a	0,7 a	4,4 a	118,1 a	61,8c	0,5 a	0,5bb	67,0b
CE1 + pk	72,6 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	5,7 a	100,1 a	59,3c	0,5 a	0,5b	46,8b
P1E1 + pk	68,8 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,7 a	5,2 a	112,9 a	54,4c	0,7 a	0,5b	48,6b
P2E1+ pk	39,0 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	5,0 a	94,0 a	74,7bc	0,5 a	0,5b	63,4b
P2E2+ pk	59,7 a	0,5 a	0,5 a	0,5 a	0,6 a	4,8 a	99,2 a	70,8bc	0,5 a	0,6b	65,5b
<b>Control</b>	<b>65,3 a</b>	<b>0,5 a</b>	<b>0,5 a</b>	<b>0,5 a</b>	<b>0,6 a</b>	<b>11,4 a</b>	<b>66,5 a</b>	<b>116,2 a</b>	<b>0,5 a</b>	<b>1,3ab</b>	<b>52,1b</b>

(1) Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$  entre todos los tratamientos

Tabla 16. Contenido de metales pesados en espinaca.

Tratamiento	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	-----Mg/Kg-----										
T1 50	64,2 a(1)	0,50b	0,50 a	0,68b	0,50bb	3,14 a	50,51b	126,51b	0,50 b	1,29ab	150,47ab
T2 50	45,62 a	0,50 b	0,50 a	0,63b	0,51b	4,43 a	47,46b	160,10b	0,50b	0,50b	158,23ab
Z 50	30,16 a	0,5	0,72 ab	0,53b	0,71b	2,27ab	37,80b	208,82 a	0,50b	0,50b	217,07ab
CE1 50	87,12 a	0,50 b	0,60ab	0,53b	0,64b	4,48 a	46,48b	170,55b	0,91b	1,52ab	201,26ab
P1E1 50	38,40 a	0,50 b	0,57ab	0,57b	0,55b	4,02 a	39,20b	183,05 a	0,50b	0,50b	150,16ab
P2E1 50	48,39 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	2,76 ab	40,24b	125,08b	0,50b	0,67ab	158,54ab
P2E2 50	32,40 a	0,50 b	0,63ab	0,80b	0,52b	2,55ab	52,98b	144,21b	0,50b	1,86 a	167,55ab
Mineral 50	35,23 a	0,52 b	0,77 a	0,53b	0,62b	2,25ab	87,34 a	155,56b	0,50b	1,47ab	148,91ab
T1 300	41,33 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,70b	4,73 a	55,11b	123,76b	0,50b	0,56b	107,03b
T2 300	24,22 a	0,50 b	0,54 a	0,53b	0,53b	5,26 a	45,71b	80,72c	0,50b	0,50b	97,65b
Z 300	75,21 a	1,03 a	0,57 ab	0,51b	0,58b	3,29 a	52,85b	139,56b	0,50b	0,58b	375,31 a
CE1 300	32,65 a	0,50 b	0,54 a	0,62b	0,54b	3,32 a	30,43b	186,34 a	0,50b	0,52b	166,65ab
P1E1 300	35,20 a	0,50 b	0,61ab	0,51b	0,58b	4,25 a	37,03b	189,94 a	0,50b	0,51b	173,61ab
P2E1 300	50,94 a	0,50 b	0,65ab	0,61b	0,69b	2,36ab	39,07b	155,39b	0,50b	0,84ab	156,88ab
P2E2 300	33,24 a	0,50 b	0,54 a	0,63b	0,50b	2,09ab	29,35b	122,87b	0,50b	1,43ab	142,24ab
Mineral 300	28,84 a	0,50 b	0,50 a	0,50bb	0,53b	1,43b	66,29 a	112,30b	0,50b	1,23ab	69,39c
T1 900	33,98 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	4,80 a	53,95 b	150,33b	0,50b	0,50b	98,70b
T2900	36,91 a a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	6,39 a	50,03b	78,63b	0,50b	0,50b	104,32b
Z900	36,18 a	0,50 b	0,61 ab	0,50b	0,83b	3,60 a	39,34b	181,70 a	0,50b	0,50b	400,33 a
CE1 900	26,05 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	4,19 a	31,55b	92,61b	0,50b	0,50b	91,01b
P1E1 900	30,49 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	4,46 a	34,55b	85,19b	0,50b	0,53b	88,98b
P2E1 900	35,50 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,53b	3,75 a	42,68b	97,92b	0,50b	1,75ab	86,97b
P2E2 900	24,26 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,50b	2,99ab	29,76b	89,36b	0,50b	1,18ab	91,37b
Mineral 900	44,20 a	0,50 b	0,50 a	0,53b	3,03 a	1,45b	94,12 a	137,43b	3,05 a	1,37ab	64,83c
T1 + pk	27,32 a	0,50 b	0,50 a	0,69b	0,50b	2,85ab	55,13b	115,41b	0,50b	0,76ab	98,86b
T2 + pk	41,63 a	0,50 b	0,50 a	0,60b	0,52b	5,22 a	51,98b	66,62c	0,50b	0,68ab	101,99b
Z+ pk	40,39 a	0,50 b	0,56 ab	0,65b	0,83b	2,25ab	65,27 a	120,27b	0,50b	1,30ab	182,93ab
CE1 + pk	53,59 a	0,50 b	0,57ab	0,72b	0,85b	3,02 a	66,28 a	90,13b	0,50b	1,43ab	136,13ab
P1E1 + pk	35,20 a	0,50 b	0,50 a	0,50b	0,53b	2,00b	44,08b	84,49c	0,50b	0,99ab	101,18b
P2E1+ pk	51,31 a	0,50 b	0,51 a	0,76b	0,64b	2,45ab	55,00b	85,18c	0,50b	1,04ab	93,29b
P2E2+ pk	30,69 a	0,50 b	0,52 a	0,53b	0,50b	1,66b	45,41b	80,87c	0,50b	0,90ab	106,97b
<b>Control</b>	<b>44,94 a</b>	<b>0,50b</b>	<b>0,52 a</b>	<b>1,44 a</b>	<b>0,64b</b>	<b>3,38a</b>	<b>31,83b</b>	<b>167,28b</b>	<b>0,50b</b>	<b>1,56ab</b>	<b>198,80ab2</b>

(1)Diferentes letras indican diferencias significativas para  $P \leq 0,05$  entre todos los tratamientos.

## **5.5 Discusión general**

Los resultados obtenidos muestran un importante efecto positivo en los cultivos derivados de la aplicación de fertilizantes orgánicos.

Para la dosis de 50kg N /ha, como era de esperar el N mineral ha sido mejor aprovechado que en el resto de tratamientos de la misma dosis puesto que la totalidad del N pasa a la solución del suelo directamente. Por ello la producción obtenida en términos de peso fresco y peso seco, y las eficiencias en el uso de nitrógeno han sido superiores en el mineral. Además la cosecha fertilizada con el abono mineral ha sido la única en obtener la condición de comercial para esta dosis.

Para las dosis superiores los fertilizantes orgánicos han obtenido producciones similares e incluso superiores a los fertilizantes minerales, como ha sido el caso de los compost industriales T1 y T2 en espinaca.

Se ha observado que el comportamiento de los fertilizantes orgánicos es muy dispar en función de su proceso de fabricación. Los fertilizantes orgánicos T1 y T2 han presentado un comportamiento similar al abono mineral. Su producción ha sido máxima para la dosis de 300kg N/ha y para la dosis superior esta se ha reducido. Esto ha podido ser por problemas de fitotoxicidad de los compost

Los cuatro compost domésticos y Z han presentado un comportamiento similar entre sí, siendo sus producciones inferiores a T1 y T2, y al abono mineral. Sin embargo, estos abonos no han provocado una reducción de la producción para la dosis más elevada, sino que la producción ha aumentado con la dosis. Por tanto pueden aplicarse a grandes concentraciones sin ningún riesgo.

Los residuos cárnicos contenidos en dos compost domésticos no produjeron efectos adversos en ninguno de los cultivos, no observando diferencias significativas entre estos y los compost de residuos vegetales. El compost Z produjo una menor producción para todas las dosis en ambos cultivos respecto a los otros abonos.

Al comparar el tratamiento de 300 kg N/ha con y sin PK se ha observado que algún nutriente diferente al nitrógeno está ejerciendo un efecto limitante sobre la producción.

Esto puede deberse a que los compost no contienen suficiente concentración del nutriente o no se encuentra en formas disponibles para las plantas. Por tanto, a la hora de aplicar estos abonos hay que tener en cuenta también la disponibilidad de otros nutrientes además del nitrógeno.

La capacidad de los compost domésticos de poder aplicarse en grandes cantidades y obtener pequeñas producciones pone de manifiesto su poder enmendante o un uso conjunto con los abonos minerales como método para reducir su uso.

Las mayores eficiencias en el uso de N, P y K se obtuvieron para los tratamientos con dosis más bajas de nitrógeno tanto en lechuga como en espinaca, reduciéndose para la dosis de 900 kg N/ha.

Los mayores valores de NUE se obtuvieron con el abono mineral en lechuga (83%), y con el compost T1 en espinaca (73%). Las eficiencias del fosforo fueron bajas. Los mayores valores fueron 21% y 18% en lechuga y espinaca respectivamente. Respecto al potasio las mayores eficiencias se obtuvieron con el tratamiento de T1 con PK mineral en lechuga, y Z 50 en espinaca.

No se puede afirmar que los fertilizantes orgánicos produzcan un contenido en nitrato inferior al abono mineral. Sin embargo, las plantas tratadas con compost domésticos tuvieron un nivel de nitrato muy inferior a aquellas tratadas con abono mineral, y los compost T1 y T2.

Los fertilizantes orgánicos no han provocado riesgos por metales pesados en las muestras analizadas, siendo su contenido inferior a los resultados de otros experimentos.

Por último, aunque las respuestas de ambos cultivos son similares, el efecto de los tratamientos en más patente en espinaca, al tratarse de un cultivo más exigente que la lechuga.

# CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES

Los efectos en términos de producción, eficiencia y calidad a corto plazo de los fertilizantes orgánicos sobre los cultivos de lechuga y espinaca son dispares en función de su proceso de fabricación.

Los fertilizantes orgánicos pueden producir producciones similares e incluso superiores a los fertilizantes minerales, como se ha observado en espinaca con los compost industriales T1 y T2. Dichos compost han tenido un comportamiento similar al abono mineral.

Los compost domésticos y el compost de zapatos (Z) no han producido efectos adversos para ninguno de los tratamientos, pudiendo aplicarse a dosis elevadas sin ningún riesgo. Sin embargo, sus reducidas producciones les confieren un uso como enmendante más que como fertilizante.

Los compost producidos a partir de residuos cárnicos no han presentado efectos negativos sobre la producción ni la calidad en lechuga y espinaca.



# BIBLIOGRAFÍA



## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Agehara, S.; Warncke, D. D. 2005.** Soil Moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal* 69(6): 1844-1855.

**Álvarez-Rodríguez, E.; Fernández-Marcos, M.L. 2011.** Metales pesados en el suelo. En: Lopez, M.E. y Sainz, M.J. *Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola*. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.

**Antil, R. S; Janssen, B. H.; Lantinga, E. A. 2009.** Laboratory and greenhouse assessment of plant availability of organic N in animal manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 85:95-106.

**Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Bierman, P. 2006.** Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2: Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology* 97:831-840.

**Baca, M. T. 1988.** Fertilizantes orgánicos: estudio y preparación de compost para su utilización en agricultura. E. Esteban Velasco y A. J. Sánchez Raya (dir). Tesis doctoral. Universidad de Granada, Granada.

**Bernal, M. P.; Gondar, D.M. 2008.** Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno, J y Moral, R. (eds. Científicos). *Compostaje*, pp.9-41. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**BP Statistical Review of World Energy. 2013.** Consulta: 13 de noviembre 2013. Disponible en: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013.html>

**Brito de Oliveira, L.; De Aguiar, A. M; Cezar, R. S.; Nicolau, R.; Silva, F.; Rodrigues, C.L. 2012.** Parameters indicators of the potential of nitrogen mineralization of organic compounds. *Idesia* 3(1): 65-73.

**Brod, E.; Haraldsen, T. K.; Breland, T. A. 2012.** Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. *Agricultural and food science* 21:332-347.

**Bronick, C.J.; Lal R. 2005.** Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.

**Castro, A; Henríquez, C.; Bertsch, F. 2009.** Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(1): 31-43.

**Castro, E.; Mañas, P.; De las Heras, J. 2009.** A comparison of the application of different waste products to a lettuce crop: effects on plant and soil properties. *Scientia Horticulturae* 123: 148–155.

**Chaney, R. L.; Ryan, J.A.; Kukier, U.; Brown, S.L.; Siebelec, G.; Malik, M.; Angle J.S. 2005.** Heavy Metal Aspect of Compost Use. En: Stoffella, P.J. y Kahn, B.A. (eds.). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*, pp. 323-358. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Crespo, D. 2011.** Comparación de compost obtenidos a partir de residuos domiciliarios, separación en origen y en planta. *Primera Jornada Nacional GIRSU 2011*.

**Debosz, K.; Peterson, S.O.; Kure, L.K.; Ambus, P. 2002.** Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied Soil Ecology* 9: 237–248.

**De Temmerman, L.; Vanongeval, L.; Boon, W.; Hoenig, M.; Geypens, M. 2003.** Heavy metal content of arable soils in Northern Belgium. *Water Air and Soil Pollution* 148: 61-76.

**Elherradi, E; Soudi, B.; Chiang, C; Elkacemi, k. 2005.** Evaluation of nitrogen fertilizing value of composted household solid waste under greenhouse conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 25:169–175

**España 2001.** Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2002, núm 25, pp. 3507-3521.

**España 2013.** Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado, 10 de julio de 2013, núm 165, pp. 51119-51207.

**Epstein, E. 2005.** Riesgos que presentan los patógenos humanos en la utilización de compost: controles y precauciones a tomar. En: Stoffella, P.J. y Kahn, B.A. (eds.). Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola, pp. 359-378. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**FAO 2002.** Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Consulta: 10 de octubre 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05>.

**Felipó, M T. 2001.** Los elementos potencialmente tóxicos (ETP) como criterio en la aplicación de residuos orgánicos al suelo. En: Boixadera, J. y Teira, M. R. (eds). Aplicación agrícola de residuos orgánicos, pp: 159-174. Universidad de Lleida, Lleida.

**Freibauer, A.; Rounsevell, M.; Smith, P.; Verhagen, J. 2004.** Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122:1 –23.

**Gawęda, M.; Nizioł-Lukaszewska, Z.; Szopińska, A. 2010.** The contents of selected metals in carrot cultivated using conventional, integrated and organic method. *Acta horticulturae (ISHS)* 936:257-263.

**Gros,A; Dominguez, A. 1992.** Abonos Guía práctica de la fertilización.(8º ed): 97-116. Ed.Mundi-Prensa. Madrid.

**Guadagnin, S.G.; Rath, S.; Reyes, F. G. R. 2005.** Evaluation of the nitrate content in leaf vegetables produced through different agricultural systems. *Food Additives and Contaminants* 22(12): 1203-1208.

**Harper, L.; Shape,R. ; Langdale,G.; Giddens,J. 1987.** Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant, and herbagenitrogen transport. *Agronomy Journal* 79: 965-973.

**Haug, R. 1993.** The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Nueva York

**Heichel, G.H. 1987.** Legume nitrogen: symbiotic fixation and recovery by subsequent crops. En: Helsel, Z.R. (ed.) *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*, pp 63–80. Ed. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

**Herencia, J. F.; Ruiz-Porras, J. C.; Melero, S.; Garcia-Galavis, P. A.; Morillo, E.; Maqueda, C. 2007.** Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal*. 99 (4): 973-983.

**Huerta O.; López, M.; Pijoan J.; Cáceres, A.; Soliva, M. 2006.** Valoración agronómica de compost de distintas procedencias. *Infoenviro*. 12: 55-58.

**Huerta, O.; Gallart, M.; Soliva, M.; Martínez-Farré, F. X.; López, M. 2011.** Effect of collection system on mineral content of biowaste. *Resources, Conservation and Recycling*. 55: 1095–1099.

**Hunter, D.; Foster, M.; McArthur, J.O.; Ojha; R.; Petocz, P.; Samman, S. 2011.** Evaluation of the Micronutrient Composition of Plant Foods Produced by Organic and Conventional Agricultural Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(6): 571-582.

**Iglesias, E.; Barral, M.T.; Marhuenda, F.C. 2008.** Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En: Moreno, J y Moral, R. (eds. Científicos) *Compostaje*, pp.243-285. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Irañeta, J.; Sánchez, L.; Malumberes, A. 2010.** Importancia agronómica y medioambiental de la fertilización .*Navarra Agraria*. 183:9-14

**Irañeta, J.; Sánchez, L.; Malumbres, A; Torrecilla, J.; Díaz,E. 2011.** Abonos minerales: tipos y usos .*Navarra Agraria*. 185:45-54.

**Irigoyen, I. 2001.** Acumulación de nitrato en espinaca (*Spinacea Oleraces L.*) para congelado. Influencia de la fertilización nitrogenada. J. Muro Erreguerena (dir). Tesis doctoral. Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

**Irigoyen, I.; Domeño I.; Muro, J.; Aparicio Tejo, P.M.; Lamsfus, C. 2009.** Evaluación capacidad de aportar nutrientes (N) a cebada y lechuga de 3 compost orgánicos. I Jornadas de la Red Española de Compostaje: 323-327.

**Irigoyen, I.; Lamsfus, C; Aparicio-Tejo, P.; Muro, J. 2006** The influence of 3,4-dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Science*. 144: 555-562.

**Illera, V.; Walter, I.; Cala,V. 2001.**Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelo enmendados con residuos orgánicos urganos.Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 17 (4):179-186.

**Koh, E.; Charoenprasert, S.; Mitchell, A.E. 2012.** Effect of organic and conventional cropping systems on ascorbic acid, vitamin C, flavonoids, nitrate, and oxalate in 27 varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(12): 3144-3150.

**Lal, R. 2004.** Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123: 1 –22.

**Labrador, J. 2001.** La materia orgánica en los agrosistemas(2º ed): 89-116. Ed. MAPA/Mundi-Prensa. Madrid

**Larrañeta, S. 2003.** Fertilización orgánica e inorgánica de espinaca: discriminación mediante técnicas de isotopía estable. I. Irigoyen Iriarte (dir). Trabajo Fin de Carrera. Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

**Lopedota, O.; Leogrande, R.; Fiore, A.; Debiase, G.; Montemurro, F. 2013.** Yield and soil responses of melon grown with different organic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 36 (3): 415-428

**López,M.; Huerta,O.; Valero,J.; Soliva, M. 2004.** Raw organic materials origin and compost heavy metal contents. En Bernal, M.P.; Moral, R.; Clemente, R.; Paredes, C. (Eds). *Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety*. Proceedings of 11th International Conference of the FAO

ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. RAMIRAN. Murcia, 6 - 9 de Octubre de 2004. Vol. II: p113-114.

**Lupway, N. Z.; Haque, I. 1998.** Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from sesbania and leucaena leaves varying in chemical composition. *Soil Biology & Biochemistry*.30:337–343

**Mclaurin, w. 2006.** How to convert an inorganic fertilizer recommendation to an organic one.the university of Georgia. Consulta: 13 de junio 2013. Disponible en [http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk\\_id=7170](http://www.caes.uga.edu/publications/pubDetail.cfm?pk_id=7170)

**Maftoun, M.; Moshiri, F.; Karimian, N.; Ronaghi ,A.M. 2006.** Effects of two organic wastes in combination with phosphorous on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *Journal of Plant Nutrition*, 27: 1635-1651.

**Masaguer, A.; Benito, M. 2008.** Evaluación de la calidad del compost. En: Moreno, J y Moral, R. (Eds. Científicos). *Compostaje*, pp.285-304. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Matallana M.C.; Martínez-Tomé, M.J.; Torija, M.E. 2010.** Nitrate and nitrite content in organically cultivated vegetables. *Food Additives and Contaminants. Part B-Surveillance*. 3(1): 19-29.

**Matheus, J.; Caracas, J.; Montilla, F.; Fernández, O. 2007.** Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea Mays L.*). *Agricultura Andina*, 13:27-38.

**MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) 2010.** Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos de España. Secretaria general técnica. Parte I. Consulta: 12 de mayo 2012. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Gu%C3%ADa\\_fertilizaci%C3%B3n\\_primeras\\_p%C3%A1ginas\\_tcm7-212173.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Gu%C3%ADa_fertilizaci%C3%B3n_primeras_p%C3%A1ginas_tcm7-212173.pdf)

**Moral, R.; Muro, J. 2008** Manejo, dosificación y gestión agronómica del compost. En: Moreno, J y Moral, R. (eds. Científicos) *Compostaje*, pp. 351-378. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Moreno, J.; Mormereo, S. 2008.** Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno, J y Moral, R. (eds. Científicos) Compostaje, pp.111-140. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

**Navarro, J. ; Moral, R.; Gómez, I.; Mataix, J. 1995.**Residuos orgánicos y agricultura. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 108 pp.

**Mueller, T.; Jensen, L .S.; Nielsen, N.E.; Magid, J. 1998.** Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biology & Biochemistry*, 30:561–571.

**Muro, J. 2009.** Programa de Fitotecnia (3º I.A). Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

**Parr, J. F; Colaccio, D. 1987.** Organic materials as alternative nutrient sources. En: Helsel, Z.R. (ed.) Energy in plant nutrition and pest control, pp. 81-99. Ed. Eisevier Science Publishers B.V. Amsterdam.

**Paustian, K.; Andrén, O.; Janzen, H.; Lal, R.; Smith, P.; Tian, G.;Tiessen, H.; Van Noordwijk, M.; Woomeer, P. 1997.** Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use of Management*. 13: 230–244.

**Pavlou, G.; Ehaliotis, C.; Kavvadias, V. 2007.** Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 111: 319–325.

**Pillay, V.; Jonnalagad, S. B. 2007.** Elemental uptake by edible herbs and lettuce (*Latuca sativa*). *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 42: 423–428.

**Porta, J.; López-Acevedo, R.M.; Roquero, C. 2003.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente (3ºed), pp: 165-226. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

**Ragályi, P.; Kádár, I. 2012.** Effect of organic fertilizers made from slaughterhouse wastes on yield of crops.*Archives of Agronomy and Soil Science*, 58:122-126.

**Rincón, L.; Pérez,A.; Pellicer, C.; Sáez, J.; Abadía, A. 2002** Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Investigación Agraria. Protección y Producción Vegetal* ,17(2): 3003-318.

**Sádaba, S. ; Uribarri, A.; Aguado, G.; Del Castillo, J. C. ; Astiz, M. 2010.** Lechuga Batavia: recomendación y actualización de variedades. *Navarra Agraria*, 180:35-37.

**Sanchez, J. 2012.** Haragi-hondakinen gehiketaren eragina etxe-konpostaketan: prozesua eta produktuen abaluaketa. I. Irigoyen Iriarte (dir). Trabajo Fin de Master. Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra, Pamplona.

**Santamaria, P. 2006.** Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86:10–17.

**Saña,J; Moré, J.C.; Cohí. A. 1996.** La Gestión de la fertilidad de los suelos: fundamentos para la interpretación de los análisis de suelos y la recomendación de abonado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Centro de Publicaciones. Madrid.

**Sikora, L. J. ; Szmidt, R. A. k.. 2005.** Los compost como fuente de nitrógeno, aportación a la mineralización y ventajas par la nutrición nitrogenada de las plantas. En: Stoffella, P.J. y Kahn, B.A. (Eds.). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*, pp. 287-305. Mundi-Prensa. Madrid.

**Smith, P. 2004.** Soils as carbon sinks: the global context. *Soil Use and Management*, 20: 212-218.

**Soliva, M ; Pault, S. 2001.** Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola. En: Boixadera y Teira( eds.). *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, pp.63-78. Universidad de Lleida, Lleida.

**Soliva, M.; Lopez, M.; Huerta, O. 2008.** Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno, J y Moral, R. (Eds. Científicos). *Compostaje*, pp. 75-92. Ed. Mundi-Prensa. Madrid

**Sullivan, D. M.; Bary, A. I.; Thomas, D. R.; Fransen, S. C.; Cogger C. G. 2002** Food Waste Compost Effects on Fertilizer Nitrogen Efficiency, Available Nitrogen, and Tall Fescue Yield. *Soil Science Society of America Journal*, 66:154–161.

**Unión Europea 2009.** Reglamento (UE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales). *Diario Oficial de la Unión Europea* L 300/1, 14 de noviembre de 2009, pp. 1-33.

**Unión Europea 2011.** Reglamento (UE) nº 1258/2011 de la Comisión, de 2 de diciembre de 2011 que modifica el Reglamento (CE) nº 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 320, 3 de diciembre de 2011, pp. 15-17.

**Utria, E.; Reynaldo, I.; Cabrera, A.; Morales, D.; Morúa, A.; Álvarez, N. 2006.** Caracterización de los biosólidos de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales "Quibú". *Revista Cultivos Tropicales*, 27 (3): 83-87.

**Van Kessel, J.; Reeves, J. 2002.** Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, 36:118–123.

**Worthington, M.S. 2001.** Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7(2):161–173.

**Zucconi, F.; De Bertoldi, M. 1986.** Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural use. En: Wise, D. L. (ed.) 1986. *Global bioconversions*. Vol. 3. CRC Press. Boca Raton, Fl. pp 109 –137.

**Zubillaga, M. S.; Branzini, A.; Lavado, R.S. 2008.** Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen*, 10 (9): 1-9.



# ANEJO





## XIV SIMPOSIO HISPANO-LUSO DE NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS

### nutriPLANTA 2012

#### LETTUCE AND SPINACH RESPONSE TO DIFFERENT ORGANIC FERTILIZERS: YIELD, ELEMENTAL UPTAKE AND HEAVY METALS ACCUMULATION

F Storino\*, J Arizmendiarrieta, E Ganuza, I Irigoyen, J Muro, PM Aparicio-Tejo

Universidad Pública de Navarra

\*Contact: francescostorino@yahoo.it ; Departamento de Producción Agraria. Campus Arrosadía s/n, 31006 Pamplona (Navarra); +34699233715

#### ABSTRACT

The aim of this work was to compare the effect of different organic and mineral fertilizers in terms of yield, bioavailability of nutrients, and heavy metals accumulation. Two trials were established in a greenhouse with lettuce and spinach cultivated in pots, to assess the suitability as fertilizers of 7 compost (4 homemade composts obtained from different mixes of vegetable and animal household wastes, and 3 full-scale composts obtained from food, paper and textile industries waste) compared with mineral fertilization. Each fertilizer was applied at three different doses corresponding to 50, 300 and 900 Kg N/h, yield, elemental composition and heavy metals concentration in plants were determined. Results showed that organic fertilizers induce very different effects depending on their manufacturing process and raw materials. Organic fertilizers at the same N dose can equal or even improve crop response compared to mineral fertilizers.

#### INTRODUCTION

Organic fertilizers utilization is a challenge to reduce environmental impact of crop culture. The use of composted waste is an alternative to mineral fertilizers that benefits soil structure, while at the same time, recycling organic matter in the agrosystem and increasing its fertility. The use of organic fertilizers can produce similar yields and nutrient composition in the edible portion of crops compared with mineral fertilization (Hunter et al., 2011 and Herencia et al., 2007).

Nutrients availability, with special consideration of nitrogen, can be improved by organic fertilization respect to inorganic as shown on the studies in lettuce (Saleh et al., 2008) and spinach (Sedat and Sahriye, 2009).

Nonetheless, some organic fertilizers like composted wastes can contain high concentrations of heavy metals (Rufus et al., 2001). These elements can be transferred from organic fertilizers to plants, modifying their elemental composition and increasing heavy metals content (Ryan and Chaney, 1994).

However, composted fertilizers are very different in their composition depending on raw materials and composting process. Therefore it is necessary to compare plants response to different organic fertilizer in terms of yield and modification of elemental composition, including heavy metals.

## MATERIALS AND METHODS

Two trials were carried out, one with lettuce (*Lactuca sativa L c.v. Batavia*) and the other with spinach (*Spinacia oleracea L*) cultivated in 10 L pots with natural light in a heated greenhouse of Universidad Pública de Navarra, in Pamplona, northern Spain, in the winter of 2011.

Seedlings were pre-grown in expanded polystyrene containers filled with peat, placed in the greenhouse and transplanted at the four leaf stage. In the first trial four plants of lettuce were transplanted to each pot, while in second trial the plants of spinach transplanted to each pot were three. Substrate utilized in the final pots was a mix of peat and perlite (volume ratio 1:3).

**Table 1.** Characteristics of the tested organic fertilizers

	units <sup>1</sup>	V1A0	V1A1	V1A2	V2A2	FC	PC	TC
C org	(g/Kg <sub>dw</sub> )	258.9	281.3	299.9	340.7	106.2	88.7	111.2
N tot	(g/Kg <sub>dw</sub> )	20.1	25.0	27.6	29.9	11.4	7.3	7.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(g/Kg <sub>dw</sub> )	11.7	13.2	14.1	13.0	24.3	9.6	2.7
K <sub>2</sub> O	(g/Kg <sub>dw</sub> )	15.1	18.1	17.3	13.7	24.8	4.9	2.4
CaO	(g/Kg <sub>dw</sub> )	61.2	59.3	55.7	50.9	91.6	149.9	3.7
MgO	(g/Kg <sub>dw</sub> )	5.3	5.6	5.4	5.0	6.5	4.4	1.3
S	(g/Kg <sub>dw</sub> )	3.4	4.1	4.4	4.0	5.2	4.4	1.6
Al	(ppm)	0.32	0.31	0.32	0.30	0.74	1.77	0.11
As	(ppm)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.52	< 0.5	< 0.5
Cd	(ppm)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cr	(ppm)	13.3	11.8	11.5	17.4	25.5	25.3	1.6
Cu	(ppm)	34.5	33.7	30.7	32.5	205.4	122.9	11.3
Ni	(ppm)	4.2	3.7	3.8	3.8	10.2	8.9	<0.5
Pb	(ppm)	12.2	10.6	8.0	9.6	7.4	17.3	1.6
Zn	(ppm)	131.1	115.4	105.3	124.6	106.4	123.4	104.2
C <sub>tot</sub> /N <sub>tot</sub>		13.37	12.04	11.41	11.73	11.49	16.11	17.10

The organic fertilizers used in the trials were four homemade composts obtained from different mixes of vegetable and animal household waste and three commercial full-scale composts obtained from waste of food, paper or textile industries:

-V1A0: vegetal household waste composted (fruit scraps, garden waste and prune residues)

-V1A1: vegetal and animal (5% of initial weight) household waste composted

-V1A2: vegetal and animal (15% of initial weight) household waste composted

- V2A2: vegetal (with double weight ratio of prune residues) and animal (15% of initial weight) household waste composted
- FC: food industries waste composted
- PC: paper industries waste composted
- TC: textile industries waste composted

Composts were characterized measuring pH, conductivity and their elemental composition was determined by LECO analyzer and ICP-OES spectrometry (Thermo Elemental Co. Iris Intrepid II XDL). Characteristics of organic fertilizers are summarized in Table 1.

Each organic fertilizer was applied at three different doses corresponding to 50, 300 or 900 Kg N/ha. In addition, three other treatments were assessed in which the three doses of nitrogen fertilization were supplied by mineral fertilizers (25 Kg N/ha in form of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  and the rest in form of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) associated with other fertilizers to cover the requirements of micro and macronutrients ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  and a commercial compound of Fe, Mn, Zn, Cu, B and Mo). A treatment without any fertilization was included as control. Experimental design was split plot with four repetitions for each treatment.

Organic fertilizers were incorporated into the substrate before the transplantation, while mineral fertilizers were incorporated one week and, later, one month after transplantation.

In the case of lettuce, plants were harvested by cutting the stems at soil level at 30, 54 and 74 days after transplanting, whereas all spinach plants were harvest in one step at 105 days. Just after harvest the fresh weight of the plants was determined. Dry weight was determined following drying at 70°C for 60-70 h. Dried samples were grinded using a milling machine, sieved at 2 mm and stored for subsequently analysis. Concentrations of total N was determined in leaf powder samples using an elemental analyzer (LECO CHN 2000). The concentration of Al, As, Cd, Cr, Cu, K, Ni, P, Pb, S and Zn were obtained by ICP-OES spectrometry (Thermo Elemental Co. Iris Intrepid II XDL).

N, P and K uptake by plants was calculated multiplying the concentration by the dry weight of harvest per pot (g/pot). Nitrogen utilization efficiency (NUE) was calculated as percent of N removal on N supply per pot.

Obtained data was analyzed with one-way Anova for each rate of N applied. To compare differences between treatments (with the same rate of N applied), SNK test were performed with a significance level  $P > 0.05$ . Statistic treatment was performed using PASW 18 statistical software.

## RESULTS AND DISCUSSION

Any problems worth mentioning were not observing at medium and high fertilization rate where all plants grew regularly reaching commercial maturity.

None of the plants with 50 Kg/ha and without fertilization reached commercial conditions, showing smaller size, clear coloration and some malformations of leaves.

## Yield

According to literature (Herencia et al, 2007) organic fertilizers can produced similar yields compared with mineral fertilization and can even overcome them.

Generally FC, PC or mineral fertilization performed higher yields. Observing yield response to different N doses (Fig.1-2) mineral, FC and PC decreased the production at higher fertilization dose while TC and household composted wastes increased the production. This response might be produced by phytotoxicity or salinity of these fertilizers applied at so extremely dose (900 Kg N/ha). It is reasonable to assume that FC and PC values of electrical conductivity were more elevated that the rest of organic fertilized tested (Tab.1).

In lettuce higher yield was performed by mineral, FC and PC treatment (Tab.2). At 50 Kg N/ha FC equals mineral treatment yield and at 300 Kg N/ha PC treatment too. At 900 Kg N/ha FC and PC yield decrease and the highest yield was performed by mineral fertilization

In spinach mineral fertilization performed the highest yield only at the lowest dose of fertilization. At medium dose of fertilization PC overcome mineral and FC equals it.

At 900 Kg N/ha PC treatment still having highest yield and all organic treatments (except TC) equals mineral fertilization.

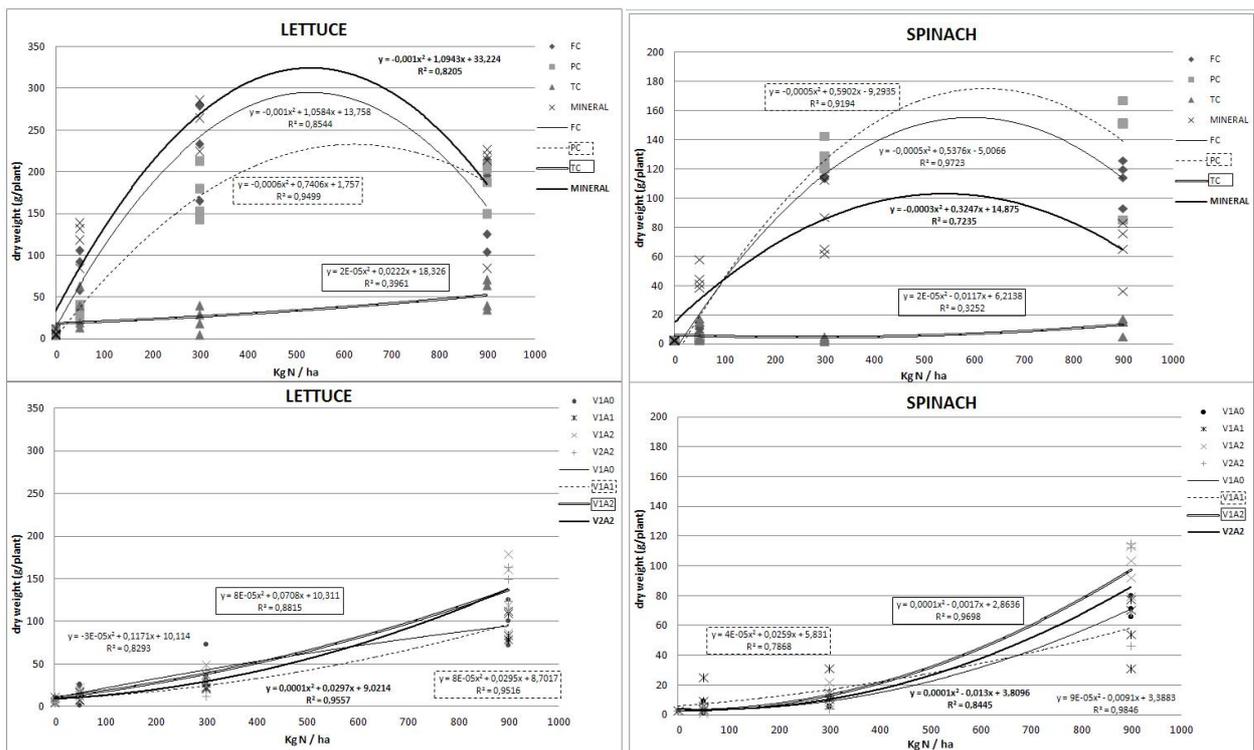


Figure 1. Response of lettuce yield to different N doses Figure 2. Response of spinach yield to different N doses

Domestic compost assayed did not show any negative effect on yield even when at applied at extremely high rates (900 kgN/ha). Differences in plant response between different organic or inorganic fertilizers at equal nutrient dose might depend on other factors like stimulatory or adverse effects at high rates, or different availability of nutrients.

## Elemental extractions by plants

In lettuce the highest N total uptake and NUE value were performed by mineral treatment at all fertilization doses followed by FC. In spinach at lowest fertilization dose the highest value of N total uptake and NUE were associated with mineral treatment. At 300 Kg N/ha PC equals mineral treatment and at 900 Kg N/ha FC treatment too. Generally, higher NUE value was associated with lowers rates of N fertilization (Tab.2) in both crops.

In lettuce the highest values of P uptake were performed by mineral treatment at all fertilization rates. In spinach higher P uptake of mineral treatment was showed only at 50 Kg N/ha. At 300 Kg N/ha PC equaled it and at 900 Kg/ha all organic fertilizers equals or overcome P uptake of mineral treatment.

Mineral treatment was associated with the highest K uptake at 50 Kg N/ha in both crops but increasing rate of fertilization organic treatment performed the same or higher K uptake than mineral. At 300 Kg N/ha FC and PC clearly overcame it. At 900 Kg/ha none organic fertilizers showed lower K uptake than mineral.

**Table 2.** Dry weight of harvest; N, P and K removal by harvest and N utilization efficiency

	LETTUCE					SPINACH				
	dry weight (g/pot)	N (mg/pot)	P (mg/pot)	K (mg/pot)	NUE (%)	dry weight (g/pot)	N (mg/pot)	P (mg/pot)	K (mg/pot)	NUE (%)
V1A0 - 50	7 b <sup>1</sup>	75 c	16 c	174 b	30 c	< 1 b	6 b	6 b	73 bcd	2 b
V1A1 - 50	4 bc	39 c	9 c	95 b	16 c	1 b	29 b	15 b	181 b	11 b
V1A2 - 50	4 bc	49 c	10 c	141 b	20 c	< 1 b	7 b	4 b	50 cd	2 b
V2A2 - 50	3 bc	42 c	9 c	116 b	17 c	< 1 b	11 b	5 b	69 bcd	4 b
FC - 50	11 a	137 b	31 b	305 a	56 b	1,81 b	23 b	10 b	156 bc	9 b
PC - 50	8 b	80 c	17 c	170 b	32 c	<1 b	11 b	4 b	62 bcd	4 b
TC - 50	6 bc	70 c	14 c	142 b	28 c	1 b	30 b	10 b	118 bcd	12 b
mineral 50	13 a	235 a	54 a	345 a	96 a	7 a	137 a	96 a	351 a	56 a
control	2 c	33 c	2 c	71 b	2 c	< 1 b	7 b	1 b	20 d	<1 b
V1A0 - 300	7 b	88 c	23 bc	246 d	6 d	1 c	16 c	16 cd	194 bc	1 c
V1A1 - 300	6 bc	69 c	19bc	220 de	4 d	2 c	34 c	23 c	215 bc	2 c
V1A2 - 300	8 b	90 c	24 bc	275 d	6 d	2 c	27 c	19 c	186 bc	1 c
V2A2 - 300	6 bc	71 c	18 bc	207 de	4 d	2 c	24 c	16 cd	183 bc	1 c
FC - 300	18 a	617 b	59 b	1081 a	41 b	12 b	508 b	48 b	1245 a	24 b
PC - 300	15 a	469 c	29 c	691 b	31 c	14 a	567 ab	54 ab	1256 a	38 ab
TC - 300	5 bc	70 c	15 bc	164 de	4 d	< 1 c	5 c	7 de	72 cd	<1 c
mineral 300	15 a	770 a	113 a	456 c	53 a	11 b	598 a	60 a	285 b	40 a

## Heavy metals concentrations in plants

Heavy metals concentrations in plants were generally lower than cited in literature (Ryan and Chaney, 1994). Heavy metals concentrations in control treatments are showed in Table 3.

In lettuce no significant differences were observed between treatments for heavy metals concentrations (Al, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb or Zn) at all doses of fertilization.

**Table 3.** Heavy metals concentrations in control treatments plants

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	(ppm)							
LETTUCE	65	0.51	0.51	0.56	11.3	0.50	1.28	52

## CONCLUSIONS

Organic fertilizers can equal mineral fertilization yield at medium and low dose of application in lettuce yield and some of them overcome mineral fertilization at higher dose in spinach.

Extreme high doses of industrial food or paper waste compost can reduce yield but, household compost or industrial textile compost -with lowest salinity- can be applied at higher dose (more proper of an amendment than a fertilizer) without negative effects on the crop.

At higher doses of fertilization organic fertilizers can equal mineral response in terms of N, P and K uptake and N use efficiency

Most heavy metals did not show higher values in the fertilized treatments compared to control. In spinach, textile compost at 900 Kg N/ha slightly increases Cd and Zn contents in respect to mineral fertilization.

## ACKNOWLEDGMENTS

Trial economically supported by Spanish Ministry of Science and Technology (project AGL2009-13339-C02-02.)

Leco y ICP-OES analysis were carried out by Ionic Laboratory of "Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura- CSIC" in Murcia.

## REFERENCES

- Herencia JF, Ruiz-Porrás, JC, Melero S, García-Galavis PA, Morillo E, Manqueda C (2007) Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy journal* 99(4):973-983
- Hunter D, Foster M, McArthur JO, Ojha R, Petocz P, Samman S (2011) Evaluation of the Micronutrient Composition of Plant Foods Produced by Organic and Conventional Agricultural Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(6):571-582
- Saleh SA, Glala AA, Ezzo MI et al. (2010) An attempt for reducing mineral fertilization in lettuce production by using bio-organic farming system. *Acta Horticulturae* 852:311-318
- Sedat C, Sahriye S (2009) Mineral Contents of Organically and Conventionally Grown Spinach (*Spinacea oleracea* L.) during Two Successive Seasons. *Journal of Agricultural and food chemistry* 57(17):7892-7898
- Rufus L, Chaney JA, Kukier U, Brown SL, Siebelec G, Malik M, Angle JS (2001) Heavy Metal Aspect of Compost Use. In Stoffella PJ, Kahn BA *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press
- Ryan JA, Chaney RL (1994) Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW-composts: Research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc (Technical Report) *Proceedings of Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*, Columbus, OH., March 27-29, 1992, 451-506



