



Universidad de Santiago de Compostela

Departamento de Producción Vegetal

**Valorización agronómica del estiércol  
deshidratado y granulado de pollo en cultivos  
hortícolas**



Tesis doctoral

**Francisco Antonio Cabaleiro Núñez**

2013



Universidad de Santiago de Compostela

Departamento de Producción Vegetal

**Valorización agronómica del estiércol  
deshidratado y granulado de pollo en cultivos  
hortícolas**

Tesis doctoral

**Fdo.:** Francisco Antonio Cabaleiro Núñez

2013

Tesis doctoral codirigida por:

Dra. M<sup>a</sup> Elvira López Mosquera  
Departamento de Producción Vegetal  
Universidad de Santiago de Compostela

Dra. M<sup>a</sup> Jesús Sainz Óses  
Departamento de Producción Vegetal  
Universidad de Santiago de Compostela

**Financiación:**

Esta tesis se ha financiado con los siguientes proyectos de investigación:

"Solución ambiental a la acumulación de estiércol de pollo: transformación en abono orgánico comercial". Xunta de Galicia (2000-2001). PGIDTOOPX129102PR.

"Transformación de estiércol de pollo en abono orgánico comercial: evaluación agronómica y ambiental" Ministerio de Ciencia y Tecnología (2001-2003). AGL2000-0481.



Dña. **M<sup>a</sup> Elvira López Mosquera** y Dña. **M<sup>a</sup> Jesús Sainz Óses**, profesoras Titulares de la Universidad de Santiago de Compostela

**INFORMAN:**

Que la Tesis Doctoral titulada “**Valorización agronómica del estiércol deshidratado y granulado de pollo en cultivos hortícolas**”, recogida en la presente memoria, de la que es autor el Ingeniero Agrónomo D. **Francisco Antonio Cabaleiro Núñez**, ha sido realizada bajo la codirección de ambas, y cumple las condiciones exigidas para que su autor pueda optar al grado de Doctor por la Universidad de Santiago de Compostela, por lo que dan su aprobación para la correspondiente lectura y defensa.

Para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Lugo, a 10 de mayo de 2013.

Fdo.: M<sup>a</sup> Elvira López Mosquera  
Doctora en Biología

Fdo.: M<sup>a</sup> Jesús Sainz Óses  
Doctora en Biología



“Vinte son...”

Con estas palabras quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que se han implicado en este trabajo...



...en especial a Juan Carlos Serrano, gerente de la empresa Aviporto S.L., por apostar por la investigación, el desarrollo y la innovación en el sector agrícola.

# Índice

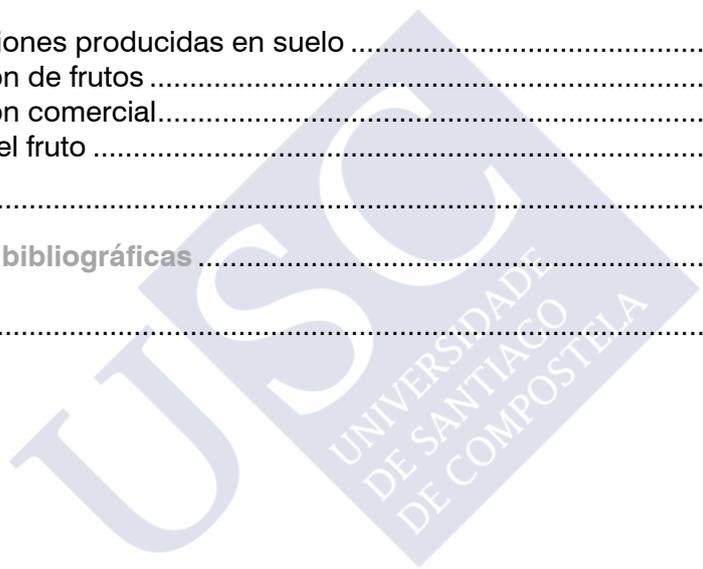
---

|   |    |
|---|----|
| <b>Objetivos</b> .....  | 12 |
| <b>Introducción</b> .....   | 14 |
| <b>1. Producción de residuos ganaderos</b> .....  | 15 |
| 1.1. Estiércol de pollo de engorde y/o gallinaza .....  | 19 |
| 1.1.1. Producción de estiércol fresco de pollo de engorde .....   | 19 |
| 1.1.2. Principales destinos .....   | 20 |
| 1.2. Valorización agronómica del estiércol de pollo .....   | 21 |
| 1.2.1. Razones para su valorización .....   | 21 |
| 1.2.2. Principales características del estiércol de pollo .....   | 22 |
| 1.2.3. Estudios realizados en cultivos hortícolas .....   | 24 |
| 1.2.4. Factores limitantes en el uso agrícola del estiércol de pollo .....  | 26 |
| 1.2.5. Tratamientos de estiércol fresco de pollo .....  | 27 |
| <b>2. Transformación de estiércol fresco de pollo de engorde: producción y procesado por la empresa Aviporto S.L.</b> ..... | 32 |
| 2.1. Descripción de la explotación avícola Aviporto S.L. ....   | 33 |
| 2.2. Planta de transformación del estiércol de pollo .....  | 34 |
| 2.3. Proceso de deshidratación y granulación del estiércol producido en Aviporto S.L. ....                                  | 36 |
| 2.4. Definición de fertilizante orgánico .....  | 38 |
| 2.5. Fertilizante BIOF-1 .....  | 40 |
| <b>3. Aplicación del estiércol de pollo de engorde en cultivos hortícolas</b> ....  | 42 |
| 3.1. Importancia del sector hortícola en España .....   | 42 |
| 3.2. Fertilización en cultivo de lechuga en invernadero .....   | 44 |
| 3.3. Acumulación de nitrato en lechuga .....  | 48 |
| 3.4. Fertilización en cultivo de pimiento en invernadero .....  | 51 |
| 3.5. Calidad del fruto del pimiento .....   | 55 |
| <b>Referencias bibliográficas</b> .....   | 58 |
| <b>Capítulo I: Valor fertilizante del estiércol de pollo: efectos del deshidratado y granulado</b> .....                    | 83 |
| <b>Resumen</b> .....  | 83 |
| <b>Palabras clave</b> .....   | 83 |
| <b>1. Introducción</b> .....  | 83 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>2. Material y métodos</b> .....  | 85  |
| 2.1. Características de la explotación .....  | 85  |
| 2.2. Recogida de muestras: estiércol fresco .....   | 86  |
| 2.3. Recogida de muestras: estiércol deshidratado y granulado .....   | 86  |
| 2.4. Análisis químicos .....  | 86  |
| 2.5. Análisis de datos.....   | 87  |
| <b>3. Resultados y discusión</b> .....  | 87  |
| 3.1. Características del estiércol fresco y del estiércol granulado .....   | 87  |
| 3.2. Análisis de la variabilidad temporal.....  | 90  |
| 3.3. Efecto del proceso de deshidratación y granulación en la<br>composición .....  | 92  |
| <b>4. Conclusión</b> .....  | 95  |
| <b>5. Referencias bibliográficas</b> .....  | 95  |
| <b>Capítulo II: Potencial fertilizante inmediato y residual del estiércol<br/>deshidratado y granulado de pollo en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca<br/>sativa</i> L.)</b> ..... | 101 |
| <b>Resumen</b> .....  | 101 |
| <b>Palabras clave</b> .....   | 101 |
| <b>1. Introducción</b> .....  | 102 |
| <b>2. Material y métodos</b> .....  | 104 |
| 2.1. Localización de los ensayos .....  | 104 |
| 2.2. Ensayo de producción de lechuga en otoño-invierno .....  | 105 |
| 2.3. Ensayo de producción de lechuga en primavera.....  | 110 |
| 2.4. Toma de muestras de planta y evaluación del rendimiento<br>económico .....   | 114 |
| 2.5. Análisis de muestra de abono orgánico .....  | 115 |
| 2.6. Análisis de datos.....   | 116 |
| <b>3. Resultados</b> .....  | 116 |
| 3.1. Producción de lechuga: cultivos de otoño-invierno .....  | 116 |
| 3.2. Producción de lechuga: cultivos de primavera .....   | 120 |
| 3.3. Producción comercial en ciclos de otoño-invierno y primavera .....   | 124 |
| 3.4. Rentabilidad económica.....  | 126 |
| <b>4. Discusión</b> .....   | 128 |
| <b>5. Conclusión</b> .....  | 133 |
| <b>6. Referencias bibliográficas</b> .....  | 133 |
| <b>Capítulo III: Concentración de nitrato en cultivos de lechuga de otoño y<br/>de primavera fertilizados con estiércol deshidratado y granulado de pollo</b> .....               | 140 |
| <b>Resumen</b> .....  | 140 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Palabras clave</b> .....  | 140 |
| <b>1. Introducción</b> .....   | 140 |
| <b>2. Material y métodos</b> .....   | 142 |
| 2.1. Recogida y análisis de muestras de planta .....   | 143 |
| 2.2. Análisis de datos.....  | 144 |
| <b>3. Resultados</b> .....   | 144 |
| 3.1. Cultivos de otoño-invierno.....   | 144 |
| 3.2. Cultivos de primavera .....   | 146 |
| 3.3. Relación entre las dosis de abonado con BIOF-1 y la concentración<br>de nitrato en lechuga.....   | 147 |
| <b>4. Discusión</b> .....  | 149 |
| <b>5. Conclusión</b> .....   | 151 |
| <b>6. Referencias bibliográficas</b> .....   | 151 |
| <b>Capítulo IV: Efectos del abonado con estiércol deshidratado y granulado<br/>de pollo en el contenido salino y nivel de metales en suelo en cultivo de<br/>lechuga</b> ..... | 157 |
| <b>Resumen</b> .....   | 157 |
| <b>Palabras clave</b> .....  | 157 |
| <b>1. Introducción</b> .....   | 157 |
| <b>2. Material y métodos</b> .....   | 161 |
| 2.1. Recogida y análisis de muestras de suelo .....  | 161 |
| 2.2. Análisis de la conductividad eléctrica del BIOF-1 .....   | 162 |
| 2.3. Análisis de datos.....  | 162 |
| <b>3. Resultados</b> .....   | 162 |
| 3.1. Salinidad .....   | 162 |
| 3.2. Metales .....   | 170 |
| <b>4. Discusión</b> .....  | 171 |
| 4.1. Salinidad .....   | 171 |
| 4.2. Metales .....   | 173 |
| <b>5. Conclusión</b> .....   | 173 |
| <b>6. Referencias bibliográficas</b> .....   | 174 |
| <b>Capítulo V: Influencia del abonado con estiércol deshidratado y granulado<br/>de pollo en el rendimiento y la calidad nutritiva de pimiento tipo Lamuyo ...</b>             | 179 |
| <b>Resumen</b> .....   | 179 |
| <b>Palabras clave</b> .....  | 179 |
| <b>1. Introducción</b> .....   | 180 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>2. Material y métodos</b> .....               | 181 |
| 2.1. Cultivo de raigrás italiano .....           | 181 |
| 2.2. Cultivo de pimiento.....                    | 182 |
| 2.3. Control de la temperatura .....             | 185 |
| 2.4. Toma de muestras y análisis de suelo.....   | 186 |
| 2.5. Toma de muestras y análisis de fruto .....  | 187 |
| 2.7. Análisis de muestra de abono orgánico ..... | 188 |
| 2.8. Análisis estadístico .....                  | 188 |
| <b>3. Resultados</b> .....                       | 189 |
| 3.1. Modificaciones producidas en suelo .....    | 189 |
| 3.2. Producción de frutos .....                  | 192 |
| 3.3. Producción comercial.....                   | 192 |
| 3.4. Calidad del fruto .....                     | 193 |
| <b>4. Discusión</b> .....                        | 195 |
| 4.1. Modificaciones producidas en suelo .....    | 195 |
| 4.2. Producción de frutos .....                  | 199 |
| 4.3. Producción comercial.....                   | 200 |
| 4.4. Calidad del fruto .....                     | 201 |
| <b>5. Conclusión</b> .....                       | 203 |
| <b>6. Referencias bibliográficas</b> .....       | 204 |
| <b>Conclusiones</b> .....                        | 215 |





## Objetivos

---

España es uno de los principales países productores de pollos de engorde en Europa. Las explotaciones están muy intensificadas y generan grandes cantidades de estiércol. Aunque el principal destino del estiércol es su aplicación como fertilizante en campo, su producción es constante a lo largo de todo el año, por lo que a menudo se acumula en el entorno de las explotaciones causando problemas ambientales.

En el año 2000 se puso en marcha una pequeña planta de deshidratación y granulación de estiércol de pollo en una explotación gallega para convertir el estiércol fresco en un abono comercial denominado BIOF-1, evitando de esta manera el impacto ambiental que producía su almacenamiento.

El estiércol de pollo se utiliza habitualmente como abono en todo tipo de cultivos dada su riqueza en materia orgánica y nutrientes. Existen numerosos trabajos sobre el uso del estiércol fresco de pollo como abono y como enmienda, pero no hay estudios agronómicos sobre estiércoles deshidratados.

Los objetivos de esta tesis fueron:

- 1- Caracterizar el abono comercial BIOF-1 con respecto al estiércol fresco de origen.
- 2- Determinar si el BIOF-1 cumple con los requisitos para ser comercializado según la Ley de Fertilizantes (2005).
- 3- Evaluar la eficacia del BIOF-1 frente a abonos minerales convencionales para la producción de lechuga en invernadero en dos épocas diferenciadas (otoño-invierno y primavera), determinando las dosis más adecuadas.
- 4- Estudiar el efecto fertilizante residual del BIOF-1 en el cultivo de lechuga.
- 5- Determinar si la aplicación de BIOF-1 como fertilizante en el cultivo de lechuga origina efectos negativos en el suelo (salinización, incremento de metales) y en las plantas (acumulación de nitratos).
- 6- Investigar los efectos de la aplicación de BIOF-1 en la producción y calidad del pimiento tipo Lamuyo en comparación con abonado mineral de liberación lenta, determinando la dosis más adecuada.
- 7- Conocer las modificaciones producidas en suelo tras un ciclo de cultivo de pimiento como consecuencia de la aplicación de BIOF-1 como fertilizante.



## **Introducción**

---

### **1. Producción de residuos ganaderos**

#### *1.1. Estiércol de pollo de engorde y/o gallinaza*

##### *1.1.1. Producción de estiércol fresco de pollo de engorde*

##### *1.1.2. Principales destinos*

#### *1.2. Valorización agronómica del estiércol de pollo*

##### *1.2.1. Razones para su valorización*

##### *1.2.2. Principales características del estiércol de pollo*

##### *1.2.3. Estudios realizados en cultivos hortícolas*

##### *1.2.4. Factores limitantes en el uso agrícola del estiércol de pollo*

##### *1.2.5. Tratamientos de estiércol fresco de pollo*

### **2. Transformación de estiércol fresco de pollo de engorde: producción y procesado por la empresa Aviporto S.L.**

#### *2.1. Descripción de la explotación avícola Aviporto*

#### *2.2. Planta de transformación del estiércol de pollo*

#### *2.3. Proceso de deshidratación y granulación del estiércol producido en Aviporto S.L.*

#### *2.4. Definición abono orgánico*

#### *2.5. Abono orgánico de origen animal*

### **3. Aplicación del estiércol de pollo de engorde en cultivos hortícolas**

#### *3.1. Importancia del sector hortícola en España*

#### *3.2. Fertilización en cultivo de lechuga en invernadero*

#### *3.3. Acumulación de nitrato en lechuga*

#### *3.4. Fertilización en cultivo de pimiento en invernadero*

#### *3.5. Calidad del fruto del pimiento*

## 1. Producción de residuos ganaderos

---

Uno de los problemas más importantes en la sociedad moderna es la creciente producción y acumulación de residuos, tanto en ambientes controlados como de forma libre en la naturaleza, lo que origina un notable riesgo para la salud humana y para el equilibrio natural del medio.

Es en los países desarrollados donde se genera mayor cantidad de residuos. Según datos del Instituto para la Política Ambiental Europea (IIEP, 2010), dentro de la Unión Europea (UE-27) se producen al año unos 3000 millones de toneladas de residuos, casi 90 clasificados como residuos peligrosos. Además se cree que la generación de residuos en la EU-27 continuará creciendo, de manera que en 2020 será entre el 9 y el 20 % mayor que en 2007.

El sector agrícola europeo aporta cerca de 175 millones de toneladas al año de la producción total de residuos (IIEP, 2010). Estos residuos pueden dar lugar a problemas ambientales importantes, por lo que deben ser estudiados, analizados y valorizados en la medida de lo posible, permitiendo de esta manera disminuir los daños sobre el medio e incluso convertirlos en recursos. De hecho, la política global para la gestión de residuos que contempla la Unión Europea y las líneas de actuación de la Ley de residuos y suelos contaminados (B.O.E. Nº 181 del 28 de julio de 2011), intentan maximizar la prevención, maximizar la valorización, y minimizar la eliminación a través del vertido.

Cuando hablamos de valorización nos referimos a *“cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general”* (Ley de residuos y suelos contaminados, B.O.E Nº 181 del 28 de julio de 2011).

Una opción para la valorización de muchos residuos agrícolas, que puede resolver los problemas que suponen el incremento progresivo en su producción y conseguir al mismo tiempo el mínimo impacto ambiental en su eliminación, es su aplicación en forma de enmiendas, abonos orgánicos o como sustratos de cultivo. Todos los materiales orgánicos son susceptibles de ser aplicados al suelo, ya que pueden ser fuente de vida nueva, aportando energía, renovación de materia orgánica y nutrientes (Navarro et al., 1995).

En la tabla 1 se indica el tipo y la cantidad de residuos agrícolas que se producen al año en España. La mayor parte son residuos no peligrosos, destacando la producción de heces animales, orina y estiércol, que suponen el 88,4 % del total de todos los residuos agrícolas.

Tabla 1  
Producción de residuos en el sector agrario (miles de toneladas) en España (INE, 2009)

| Cantidad de residuos generados<br>(clasificados por tipos) | No peligrosos<br>(miles de t) | Peligrosos<br>(miles de t) |
|--|-------------------------------|----------------------------|
| Compuestos y preparados químicos                           | 3,51                          | 4,49                       |
| Aceites usados   | 0,00                          | 28,72                      |
| Residuos sanitarios y biológicos                           | 305,68                        | 0,31                       |
| Metales  | 29,69                         | 0,66                       |
| Vidrio   | 2,28                          | 0,01                       |
| Papel y cartón   | 24,88                         | 0,00                       |
| Caucho   | 5,87                          | 0,00                       |
| Plástico   | 137,28                        | 0,00                       |
| Madera   | 709,78                        | 0,76                       |
| Textiles   | 4,49                          | 0,00                       |
| Equipos desechados   | 16,80                         | 0,20                       |
| Residuos animales y vegetales                              | 8.700,79                      | 0,00                       |
| Heces animales, orina y estiércol                          | 76.510,31                     | 0,00                       |
| Residuos domésticos y similares                            | 94,74                         | 0,00                       |
| Lodos comunes  | 1,68                          | 0,00                       |
| <b>TOTAL</b>   | <b>86.547,78</b>              | <b>35,16</b>               |

La cabaña ganadera mundial se ha incrementado progresivamente a lo largo de los últimos cuarenta años (tabla 2). De todas las cabañas, la aviar es la que ha registrado el mayor aumento, con un 276 % desde 1970 a 2010, seguida del porcino con un incremento de casi el 76 % en el mismo periodo.

Tabla 2  
Producción de cabezas de ganado a nivel mundial según razas animales (FAOSTAT, 2012)

| Cabaña ganadera | Producción a nivel mundial<br>(miles de cabezas) |           |            |            |            |
|-----------------|--|-----------|------------|------------|------------|
|                 | 1970   | 1980      | 1990       | 2000       | 2010       |
| Aviar           | 5.711.719  | 7.975.460 | 11.791.809 | 16.078.447 | 21.488.551 |
| Porcino         | 547.231  | 797.777   | 855.963    | 898.813    | 965.855    |
| Vacuno          | 1.081.641  | 1.217.018 | 1.298.403  | 1.314.814  | 1.428.636  |
| Caprino y ovino | 1.440.967  | 1.562.997 | 1.799.114  | 1.811.199  | 2.000.380  |

Este aumento de la cabaña ganadera mundial, en especial de las aves, es consecuencia directa de la demanda de carne generada por los países en vías de desarrollo y subdesarrollados. En los países desarrollados, como los de la Unión Europea (UE-27), estos incrementos de ganado son solo apreciables en la cabaña avícola (31,2 %) (tabla 3), ya que la demanda de carne es y se prevé que sea hasta el año 2050 inferior (figura 1).

Tabla 3  
Producción de cabezas de ganado en la Unión Europea según especies (FAOSTAT, 2012)

| Cabaña ganadera | Producción en la Unión Europea<br>(1000 cabezas) |           |           |           |           |
|-----------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | 1970   | 1980      | 1990      | 2000      | 2010      |
| Aviar           | 1.056.867  | 1.250.654 | 1.324.669 | 1.351.509 | 1.387.225 |
| Porcino         | 117.508  | 156.747   | 165.419   | 159.796   | 152.562   |
| Vacuno          | 109.717  | 119.969   | 111.357   | 97.636    | 89.160    |
| Caprino y Ovino | 122.557  | 121.420   | 157.901   | 137.118   | 112.279   |

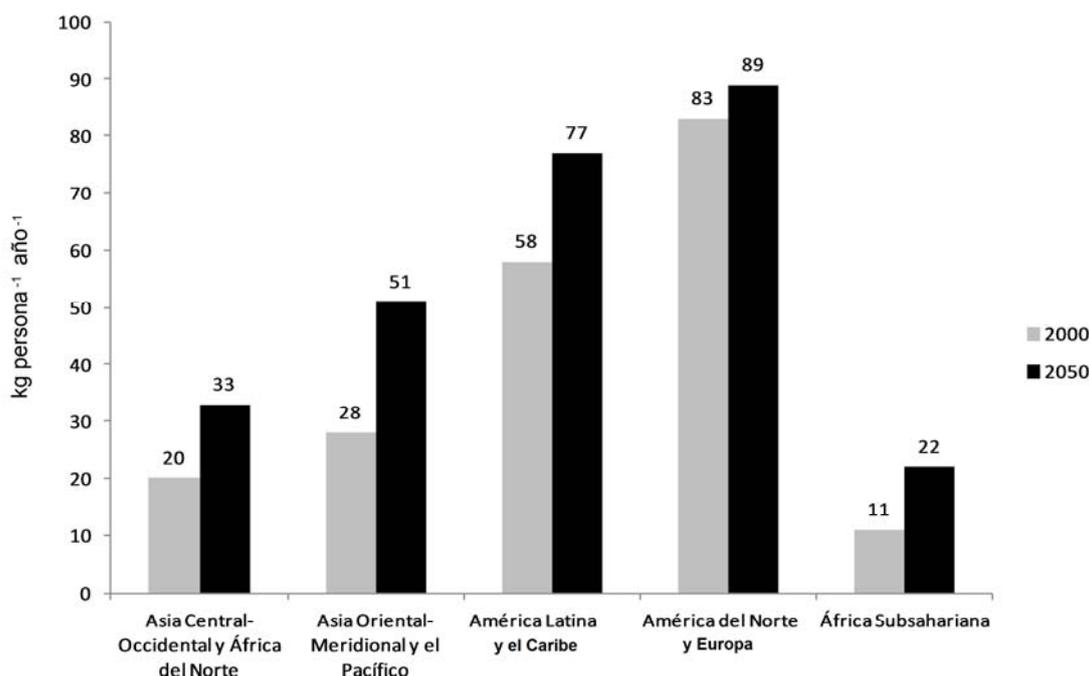


Figura 1  
Consumo de carne por persona y año en el año 2000 y previsiones para el año 2050 en distintas zonas del mundo (modificado de Rosegrant y Thornton, 2008)

Esta situación está dando lugar a un incremento importante de estiércoles de estas especies animales a nivel europeo y mundial, en especial la procedente de la cría de aves (gallinas, pollos, pavos, gansos y patos).

Dentro de la actividad ganadera, de forma general, se pueden diferenciar dos grandes grupos productivos, que están englobados básicamente en un sistema de “ganadería sin tierras” y otro de “ganadería con tierras”. En el primero de los sistemas el receptor de los residuos puede ser el propietario u otros agricultores de la zona, mientras que en el segundo sistema suele ser siempre el mismo propietario el que reutiliza los subproductos dentro de su explotación, generalmente agroganadera.

En los últimos años, la intensificación de los procesos productivos en las explotaciones de tipo “ganadería sin tierras” (avícola, porcino, cunícola, visones, etc),

ha tenido como consecuencia un aumento constante de los residuos ganaderos, siendo insuficiente la reutilización de estos residuos por los agricultores de las zonas productoras, dando lugar al almacenamiento y al vertido en vertederos.

En la tabla 4 se muestra la evolución de la cantidad de deyecciones de ganado vacuno, ovino, caprino, porcino, conejos, equino y de gallinas ponedoras y pollos de engorde producidas en España desde 1990 hasta el año 2003.

Tabla 4  
Producción de deyecciones animales (miles de toneladas), calculadas en base al censo de ganado de 2003, en España (MAGRAMA, 2005)

| Años | Producción de estiércol<br>(miles de toneladas) |        |         |         |        |       |         | TOTAL  |
|------|---|--------|---------|---------|--------|-------|---------|--------|
|      | Bovino  | Ovino  | Caprino | Porcino | Equino | Aves  | Conejos |        |
| 1990 | 36.885  | 11.647 | 1.878   | 18.513  | 3.564  | 4.072 | 424     | 75.983 |
| 1991 | 37.317  | 10.944 | 1.596   | 19.160  | 3.493  | 4.528 | 792     | 76.830 |
| 1992 | 33.499  | 11.025 | 1.463   | 19.837  | 3.400  | 5.213 | 415     | 73.854 |
| 1993 | 31.101  | 11.203 | 1.386   | 18.482  | 3.555  | 4.501 | 531     | 69.759 |
| 1994 | 33.669  | 13.767 | 1.553   | 21.841  | 3.754  | 5.631 | 505     | 78.720 |
| 1995 | 34.874  | 13.978 | 1.497   | 21.489  | 3.806  | 5.569 | 549     | 79.762 |
| 1996 | 35.121  | 12.472 | 1.468   | 21.586  | 2.504  | 6.108 | 548     | 79.707 |
| 1997 | 36.900  | 13.002 | 1.436   | 21.562  | 2.642  | 5.718 | 550     | 81.810 |
| 1998 | 36.979  | 12.400 | 1.353   | 21.241  | 2.587  | 6.210 | 567     | 81.335 |
| 1999 | 36.110  | 10.273 | 1.164   | 23.276  | 2.426  | 6.332 | 543     | 80.124 |
| 2000 | 37.185  | 11.080 | 1.328   | 25.652  | 2.555  | 6.429 | 469     | 84.697 |
| 2001 | 39.397  | 12.101 | 1.283   | 24.100  | 2.601  | 7.472 | 439     | 87.393 |
| 2002 | 39.310  | 12.957 | 1.553   | 26.842  | 2.721  | 6.957 | 427     | 90.768 |
| 2003 | 42.085  | 12.128 | 1.458   | 25.242  | 2.638  | 7.695 | 407     | 91.654 |

En el intervalo de trece años (de 1990 a 2002), en España, se pasó de una producción total de 75.983.000 toneladas de estiércol a 91.654.000, lo que supuso un incremento de casi el 17,1 %.

Tabla 5  
Producción de deyecciones de animales (miles de toneladas) en Galicia y España, calculadas en base al censo de ganado de 2003 (MAGRAMA, 2005)

| Especie      | Galicia        | España          |
|--------------|----------------|-----------------|
| Bovino       | 6.909,6        | 42.085,3        |
| Ovino        | 98,8           | 12.128,4        |
| Caprino      | 18,7           | 1.458,4         |
| Porcino      | 907,2          | 25.242,0        |
| Equino       | 242,5          | 2.637,8         |
| Avicultura   | 712,7          | 7.695,4         |
| Conejos      | 85,7           | 407,2           |
| <b>TOTAL</b> | <b>8.975,1</b> | <b>91.654,3</b> |

La cantidad de estiércol que se produjo en Galicia en el año 2003 fue de 8.975.100 toneladas, lo que representa casi el 10 % de la producción total española (tabla 5). Además, si se tiene en cuenta, que el censo total de aves en Galicia en el año 2010

fue de casi 22,5 millones (Consellería do Medio Rural e do Mar, 2010), en este año se generó una producción estimada de 16.000 a 31.500 toneladas, considerando que cada 1000 aves producen de 0,71 a 1,4 Mg de estiércol (Collins, 1996; Patterson et al., 1998).

### *1.1. Estiércol de pollo de engorde y/o gallinaza*

El estiércol de pollo de engorde, conocido comúnmente con el nombre de gallinaza sólida (Beloso, 1991), es el producto de la fermentación de los excrementos de los pollos de engorde con una cama, que suele ser un material ligno-celulósico. En España se utiliza normalmente serrín o virutas de pino, eucalipto u otra especie arbórea, aunque también se emplea paja o mezcla de paja y serrín (Meijide, 1996). En la última década en el norte de España se viene usando como cama la cascarilla de arroz, que es un absorbente muy eficaz de la humedad (Sweeten y Auvermann, 2008) y constituye una importante fuente de carbono para el estiércol avícola. En los últimos años la mejora en las condiciones de manejo, compactación y formación de pacas de la cascarilla de arroz han facilitado y reducido los costes de transporte de este subproducto de la industria arrocera.

#### *1.1.1. Producción de estiércol fresco de pollo de engorde*

El número de aves criadas anualmente a nivel mundial en la actualidad es de unos veinte y un mil millones (año 2010), habiéndose producido un gran incremento (de casi el 400 %) desde el año 1961 (FAOSTAT, 2012). Sin embargo, este aumento varió entre especies, zonas del mundo y países. En concreto, la cría de gallinas en la Unión Europea aumentó en los últimos cincuenta años un 52 % (FAOSTAT, 2012), mientras que el incremento en España en ese mismo período fue del 300 % (MAGRAMA, 2011).

En la Unión Europea, el censo total de aves en 2010 fue de 1.241,6 millones de cabezas (FAOSTAT, 2012). Si tenemos en cuenta que 1000 aves producen de 1,0 a 1,4 Mg de estiércol (Collins, 1996; Patterson et al., 1998), este sector ganadero está generando anualmente en Europa de 1,24 a 1,74 millones de Mg de estiércol o gallinaza, y en España de 140.000 a 190.000 Mg.

Debido a que la mayoría de las explotaciones avícolas se concentran en regiones o zonas concretas, tanto a nivel mundial como nacional, se han creado ciertos problemas de gestión del estiércol de pollo o gallinaza (Sims et al., 2005; Sims et al., 2008). Con la intensificación de la ganadería la cantidad de estiércol es sumamente mayor que en décadas anteriores, lo que ha dado lugar al almacenamiento temporal, y consecuentemente a problemas ambientales asociados (malos olores, lixiviación de nutrientes, etc) (Carey et al., 2004; He et al., 2009; Amanullah et al., 2010; Williams, 2012).

Por lo tanto es necesario buscar soluciones a estos problemas e intentar minimizar los riesgos ambientales que su almacenamiento ocasiona.

### 1.1.2. Principales destinos

En la actualidad los principales destinos del estiércol de pollo son:

- Almacenamiento temporal y transporte a vertederos:

Es un sistema de eliminación puntual adoptado por los ganaderos durante las épocas de excesiva acumulación. La producción de este estiércol es regular a lo largo del año, mientras que la aplicación a los suelos y las necesidades de los cultivos se centran en ciertas épocas. Por ello, en muchos casos y en determinados momentos, se produce acumulación del estiércol, que en ocasiones acaba llevándose a vertedero (Baca, 1988; Carballas, 1996; Baranyai, 2011; Moreki y Chiripasi, 2011). Estos problemas de almacenamiento pueden originar daños ambientales, como emisión de N a la atmósfera, contaminación de aguas a través de lixiviados, malos olores y contaminantes microbianos.

- Como fuente de combustible:

En países en vías de desarrollo la gallinaza sólida aún se utiliza como una fuente de combustible (Jenner, 1997). También puede usarse para la producción de alcohol lignocelulósico, tecnología que aún está en proceso experimental pero que podría suministrar biocombustible (Sims et al., 2005; Turnell et al., 2007; Agblevor et al., 2010; Moreki y Chiripasi, 2011).

- Para la producción de energía:

A partir de la incineración o digestión anaerobia del estiércol de pollo se produce energía (Aubert, 1993; Jenner, 1997; Kelleher et al., 2002; Williams, 2012).

- Para la producción de carbón activado:

Por medio de la gasificación del estiércol a altas temperaturas se puede conseguir carbón activado que se emplea fundamentalmente para el tratamiento de metales de aguas contaminadas (Guo et al., 2010).

- Como alimento para peces y algas:

Una vez acondicionado, el estiércol de pollo se utiliza como alimento para la cría de peces y el cultivo de algas (Jenner, 1997; Glatz et al., 2011).

- Como alimento del ganado:

Aunque sigue en fase de estudio e investigación en diferentes países del mundo, el estiércol de pollo se utiliza cada vez más como alimento para el ganado (Jenner, 1997; Moreki y Chiripasi, 2011; Williams, 2012).

- Utilización en la agricultura:

Es bien conocida la utilización del estiércol de pollo por los agricultores desde antaño como fertilizante. La composición de este subproducto orgánico, aunque variable, lo convierte en una fuente de materia orgánica y de elementos fertilizantes, que aplicado al suelo mejora las propiedades físicas y provoca un aumento inmediato de nutrientes (Beloso, 1991; Brown et al., 1994; Asiegbu y Oikeh, 1995; El Nadi et al., 1995; Tewolde et al., 2004; Amanullah et al., 2007; Sistani et al., 2007; López-Mosquera et al., 2011).

En la tabla 6 se muestra la riqueza en nitrógeno, fósforo y potasio, de estiércoles frescos de diferentes tipos de ganado (vacuno, ovino, porcino, avícola y caballo). La gallinaza es especialmente rica en N y P, presentando contenidos más altos que las otras clases de estiércol (Jouis y Hangard, 1957; Amanullah et al., 2007).

Tabla 6  
Contenido en nitrógeno, fósforo y potasio en kg t<sup>-1</sup> de estiércol (Burton, 2009)

| Estiércoles          | N<br>kg t <sup>-1</sup> | P<br>kg t <sup>-1</sup> | K<br>kg t <sup>-1</sup> |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Estiércol de vacuno  | 4,5                     | 2,3                     | 4,5                     |
| Estiércol de oveja   | 12,7                    | 4,5                     | 11,4                    |
| Estiércol de cerdo   | 4,5                     | 2,3                     | 4,5                     |
| Estiércol de aves    | 13,6                    | 9,1                     | 4,5                     |
| Estiércol de caballo | 6,3                     | 2,3                     | 6,3                     |

## 1.2. Valorización agronómica del estiércol de pollo

### 1.2.1. Razones para su valorización

Existen diferentes razones que aconsejan la valoración agrícola del estiércol de pollo como una de las mejores alternativas para su utilización:

- El empobrecimiento gradual en materia orgánica de los suelos cultivados. La práctica agrícola agota los terrenos y necesita de la utilización de cantidades de fertilizantes minerales cada vez mayores para mantener los niveles de productividad; el usar únicamente fertilizantes minerales sin aporte de materia orgánica desequilibra el medio fisicoquímico y sobre todo el medio biológico del suelo (García et al., 1994; Pascual, 1995).

- La sensibilización que de forma generalizada se está produciendo alrededor de la problemática ambiental y la implementación de leyes que hacen que las diferentes empresas del sector ganadero tengan que dirigir sus esfuerzos a la consecución de procesos productivos lo más inofensivos posibles para su propio entorno. Por ello, las instalaciones destinadas a la cría y engorde de explotaciones intensivas de pollos, que dispongan de más de 85.000 emplazamientos, deberán

cumplir la ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (B.O.E., 2002). Los productores se ven obligados a declarar la cantidad de residuos que generan y mejorar su gestión.

- El aumento por parte de particulares, así como de instituciones públicas de espacios verdes, jardines, etc. (Gonzalez, 2011), que requieren cantidades importantes de materia orgánica y nutrientes.

- La necesidad de luchar contra la erosión y desertización del suelo, situaciones cada vez más urgentes en el mundo a consecuencia de la pérdida de materia orgánica, así como la recuperación de zonas degradadas debido a la quema de los montes, explotaciones mineras, terrenos improductivos, etc (Vázquez et al., 1996; Tejada et al., 2006; Tejada y Gonzalez, 2008).

Desde una perspectiva agronómica, la acción del estiércol de pollo sobre el suelo se debe analizar bajo tres puntos de vista:

- Desde el punto de vista físico el aporte de materia orgánica inerte actúa sobre las propiedades físicas del suelo, mejorando su estructura, incrementando la capacidad de retención de agua y disminuyendo el riesgo de erosión. El aporte de sustancias orgánicas activas influye sobre el sistema suelo-planta al estimular directamente el desarrollo vegetal y la mejora de la nutrición mineral de las plantas (Adeli et al., 2007; Sistani et al., 2007; Adeli et al., 2010).

- Desde el punto de vista biológico la gallinaza sólida contiene 63 millones de microorganismos por gramo de materia seca que participan activamente en el ciclo de los elementos, aumentando considerablemente las enzimas y metabolitos microbianos, lo que puede favorecer la estimulación de sustancias de acción fitohormonal al mismo tiempo que se producen vitaminas, etc. (El Nadi et al., 1995; Carballas, 1996; Aoyama et al., 2000; Adeli et al., 2007).

- A nivel nutricional el estiércol de pollo supone un aporte de materia orgánica y elementos fertilizantes al suelo (N, P, K, Ca, Mg y oligoelementos) y un incremento de la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica, así como los nutrientes que contiene el estiércol de pollo se mineralizan progresivamente, es decir, se liberan gradualmente de forma que la planta dispondrá de los nutrientes según los necesite, dando lugar a un efecto residual que puede ser aprovechado por el siguiente cultivo.

### *1.2.2. Principales características del estiércol de pollo*

En la tabla 7, se presentan las principales características físico-químicas y químicas del estiércol de pollo de engorde, según diferentes autores a nivel mundial.

Según estos datos, en general, el estiércol fresco de pollo de engorde contiene un bajo porcentaje de humedad, que varía entre 19,5 y 38,7 %, siendo su conductividad eléctrica normalmente alta, aunque muy variable (3,4 – 18,0 dS m<sup>-1</sup>). El contenido de

N total varía entre el 2,0 y el 5,3 %, del cual la mayor parte es orgánico (0,3 - 3,3 %). La relación C/N es baja (6,4-12,1), lo que facilita la liberación de N. La presencia de metales es muy variable; en algunos casos puede presentar contenidos que pueden exceder los valores límites admitidos para fertilizantes.

Tabla 7

Principales características físico-químicas y químicas del estiércol fresco de pollo de engorde. Se muestran los rangos y valores medios encontrados en estudios de investigación previos

| Parámetros                  | Rango de valores | Fuente bibliográfica <sup>a</sup>  |
|-----------------------------|------------------|--|
| Humedad (%)                 | 19,5 – 38,7      | 2,11,12,16,17,21,23,28,33,34,37,38,39,41   |
| Cenizas (% m.s.)            | 8,9 – 54,4       | 23,27,28,35,41   |
| C. E. (dS m <sup>-1</sup> ) | 3,4 – 18,0       | 15,16,17,18,30,41  |
| pH (H <sub>2</sub> O)       | 5,9 – 8,7        | 1,2,3,12,15,16,17,18,21,29,30,32,33,36,41  |
| C orgánico (% m.s.)         | 18,8 – 39,3      | 1,2,3,11,12,13,15,16,17,18,20,21,26,29,30,32,33,37,38,41                                       |
| N total (% m.s.)            | 2,0 – 5,3        | 1,2,3,4,5,6,7,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,24,25,26,28,29,30,31,32,33,35,36,37,38,39,41,42 |
| Relación C:N                | 6,4 – 12,1       | 1,4,12,13,15,16,17,18,20,21,26,29,30,41  |
| N amónico (% m.s.)          | 0,26 – 1,00      | 1,11,14,16,17,18,19,26,29,32,39,41,42  |
| N nítrico (% m.s.)          | 0,0016 – 0,1000  | 1,11,16,17,19,26,27,32,41  |
| N orgánico (% m.s.)         | 0,3 – 3,3        | 14,16,17   |
| N ureico (% m.s.)           | 0,7 – 1,1        | 16,17,29   |
| P (% m.s.)                  | 0,6 – 2,4        | 1,2,3,4,6,7,8,10,11,14,15,17,18,19,20,21,23,24,25,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,41,42 |
| K (% m.s.)                  | 0,7 – 5,2        | 1,2,3,4,6,7,10,11,14,15,18,19,20,21,22,23,24,25,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,41,42   |
| Ca (% m.s.)                 | 0,8 – 6,1        | 1,2,3,4,6,7,10,11,18,19,22,23,27,28,32,34,35,36,37,38,39,41                                    |
| Mg (% m.s.)                 | 0,2 – 0,9        | 1,2,3,4,6,7,9,10,11,18,19,22,27,28,29,32,34,35,36,37,38,39,41                                  |
| S (% m.s.)                  | 0,2 – 0,8        | 27,29,34,35,39,41  |
| Na (% m.s.)                 | 0,33 – 0,71      | 10,11,19,22,27,39  |
| Fe (mg kg <sup>-1</sup> )   | 529,0 – 5.024,0  | 4,7,10,11,18,22,28,32,34,35,36,37,38,39,40,41  |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )   | 125,0 – 667,0    | 4,7,8,10,11,18,19,22,27,28,32,34,35,36,37,38,39,40,41  |
| B (mg kg <sup>-1</sup> )    | 23,0 – 125,0     | 9,10,28,35,39  |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )   | 22,0 – 1.003,0   | 2,3,4,7,10,11,18,19,22,23,25,27,28,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41                               |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )   | 54,0 – 680,0     | 2,3,4,6,7,8,10,11,18,19,21,22,25,27,28,30,32,34,35,36,37,38,39,40,41                           |
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> )   | 0,2 – 4,9        | 10,22,23,27,30,40  |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> )   | 7,6 – 181,5      | 10,19,22,25  |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> )   | < 0,1 – 55,0     | 10,19,22,23,25   |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )   | 3,2 – 11,2       | 10,22,27,40  |

<sup>a</sup>1, Adeli et al. (2006); 2, Adeli et al. (2009); 3, Adeli et al. (2010); 4, Amanullah et al. (2007); 5, Beegle y Bosworth (1997); 6, Brown et al. (1993); 7, Brown et al. (1994); 8, Codling et al. (2008); 9, Cummis et al. (1993); 10, Edwards et al. (1995); 11, Edwards y Daniel (1992); 12, Ekinci et al. (2000); 13, Flynn y Wood (1996); 14, Fulhage y Pfof (1994); 15, Ghanbarian et al. (2008); 16, Gordillo y Cabrera (1997a); 17, Gordillo y Cabrera (1997b); 18, Hamilton y Sims (1994); 19, Henry y White (1993); 20, Hirzel et al. (2004); 21, Koon et al. (1992); 22, Kpombrekou et al. (2002); 23, Kunkle et al. (1981); 24, Kuykendall et al. (1999); 25, Malone (1992); 26, Marshall et al. (1998); 27, Martin et al. (1983); 28, Mitchell y Donald (1995); 29, Nicholson et al. (1996); 30, Omeira et al. (2006); 31, Payne y Donald (1991); 32, Sistani et al. (2003); 33, Sistani et al. (2007); 34, Smith y Chambers (1993); 35, Stephenson et al. (1990); 36, Tewolde et al. (2004); 37, Tewolde et al. (2007); 38, Tewolde et al. (2008); 39, Tu y Mitchell (2005); 40, Van Ryssen et al. (1993); 41, Wood et al. (1999); 42, Zublena et al. (1990)

### 1.2.3. Estudios realizados en cultivos hortícolas

Numerosos estudios realizados sobre distintos cultivos, muestran como el estiércol de pollo de engorde o gallinaza, añadido a los terrenos agrícolas, mejora la productividad agrícola de los suelos. En la tabla 8 se recogen referencias bibliográficas que muestran experiencias realizadas en cultivos hortícolas en distintos países.

Tabla 8  
Resultados obtenidos tras la utilización de estiércol de pollo de engorde o gallinaza como fertilizante orgánico para el abonado de diferentes cultivos hortícolas

| Cultivo  | Fertilizante       | País           | Resultados obtenidos   | Referencias                              |
|--|--------------------|----------------|--|--|
| <b>Ajo</b><br>( <i>Allium sativum</i> )          | Gallinaza          | Brasil         | Aumento significativo de la producción de ajo con la fertilización de gallinaza respecto a la fertilización con vermicompost y estiércol de vacuno.                    | Seno et al. (1993)<br>Seno et al. (1996) |
| <b>Brócoli</b><br>( <i>Brassica oleracea</i> )   | Estiércol de pollo | Estados Unidos | Misma producción de brócoli con la fertilización de estiércol de pollo que con la fertilización mineral convencional.  | Brown et al. (1994)                      |
| <b>Berenjena</b><br>( <i>Solanum melongena</i> ) | Gallinaza          | Nigeria        | Aumento significativo de la producción de berenjena con el aumento de la dosis de gallinaza.   | Opara y Asiegbu (1996)                   |
| <b>Cebolla</b><br>( <i>Allium cepa</i> )         | Gallinaza          | Italia         | Aumento significativo de la producción de cebolla con una fertilización mineral convencional (NPK) suplementada con gallinaza.   | Giardini et al. (1992)                   |
| <b>Espinaca</b><br>( <i>Spinacia oleracea</i> )  | Gallinaza          | Italia         | Aumento significativo de la producción de espinaca con una fertilización convencional (NPK) suplementada con gallinaza.  | Giardini et al. (1992)                   |
| <b>Espinaca</b><br>( <i>Spinacia oleracea</i> )  | Gallinaza          | Botswana       | Aumento significativo de la producción de espinaca con el aumento de la dosis de gallinaza.  | Mufwanzala y Dikinya (2010)              |
| <b>Fresa</b><br>( <i>Fragaria spp.</i> )         | Gallinaza          | Líbano         | Aumento significativo de la producción de fresa con la fertilización de gallinaza comparándola con la fertilización mineral.   | Rubeiz et al. (1998)                     |
| <b>Judía</b><br>( <i>Phaseolus vulgaris</i> )    | Estiércol de pollo | Estados Unidos | Misma producción de judía con la fertilización de estiércol de pollo que con la fertilización mineral convencional.  | Brown et al. (1993)                      |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )      | Gallinaza          | Brasil         | La gallinaza produjo mayores rendimientos en cultivos de lechuga que con aportes inorgánicos.  | Rodríguez y Lobo (1972)                  |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )      | Estiércol de pollo | Singapur       | La fertilización con estiércol de pollo debe complementarse con abonos minerales para poder cubrir adecuadamente las necesidades nutricionales del cultivo de lechuga. | Teoh y Chua (1974)                       |

|   |                                |                |  |                            |
|---|--------------------------------|----------------|--|----------------------------|
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Gallinaza                      | Venezuela      | Usando diferentes dosis de gallinaza, no se apreciaron diferencias en la producción final de lechuga.  | Añez y Tavira (1984)       |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Estiércol de pollo             | Brasil         | La aplicación de diferentes dosis de estiércol de pollo influyó de forma positiva tanto en el rendimiento de materia seca como en la absorción de nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo y potasio en el cultivo de lechuga. | Bernard et al. (1990)      |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Estiércol de pollo y gallinaza | Líbano         | Igual producción de lechuga en invernadero con una fertilización de estiércol de pollo o de gallinaza sólida con respecto a la fertilización mineral convencional.   | Rubeiz et al. (1992)       |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Gallinaza                      | España         | Con las dosis más elevadas de gallinaza se consiguieron cosechas similares a parcelas abonadas con fertilizante mineral.   | Merino y Ansorena (1993)   |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Estiércol de pollo             | Estados Unidos | Aumento significativo de la producción de lechuga con una fertilización de estiércol de pollo compostado junto con un sustrato comercial.  | Flynn et al. (1995)        |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Gallinaza                      | Egipto         | La gallinaza sólida puede servir como sustrato para el buen desarrollo de cultivo de lechuga en sistema NFT (cultivo hidropónico).   | El-Shinawy et al. (1997)   |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Estiércol de pollo             | Brasil         | Aumento significativo en la producción de materia fresca de lechuga con fertilización de estiércol de pollo respecto de la fertilización mineral convencional.   | Heredia et al. (1997)      |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | Estiércol de pollo             | Suecia         | Mejores resultados con la fertilización de estiércol granulado de pollo en cultivo de lechuga iceberg que con estiércol de pollo fresco.   | Stintzing y Salomon (2000) |
| <b>Lechuga</b><br>( <i>Lactuca sativa</i> )   | gallinaza                      | Swazilandia    | Aumento significativos de la producción de lechuga con la fertilización de gallinaza comparándola con la fertilización mineral convencional.   | Masarirambi et al. (2012)  |
| <b>Melón</b><br>( <i>Cucumis melo</i> )       | Estiércol de pollo             | Irán           | Aumento significativo de la calidad y la producción de dos variedades de melón con el aumento de la dosis de estiércol de pollo.   | Ghanbarian et al. (2008)   |
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> ) | Estiércol de pollo             | Hungría        | Aumento significativo de la producción de pimiento con la fertilización de gallinaza comparándola con la fertilización mineral convencional.   | Delate (1999)              |
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> ) | Gallinaza                      | Nigeria        | El uso de gallinaza en el abonado del cultivo de pimiento dio lugar a cambios nutricionales en el fruto, destacando mayores concentraciones de N y K.  | Aliyu (2000)               |
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> ) | Estiércol de pollo             | Estados Unidos | Se usó compost de estiércol de pollo con restos orgánicos como abono, no afectando a la producción final de pimiento, pero sí hubo un incremento en el tamaño de las plantas y en el número de hojas por planta.           | Delate et al. (2004)       |

|  |                    |                |   |                            |
|--|--------------------|----------------|---|----------------------------|
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> )            | Gallinaza          | Nigeria        | Aumento de la producción de pimiento con la fertilización de gallinaza comparándola con fertilización mineral fosfórica.  | Alabi (2006)               |
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> )            | Estiércol de pollo | Venezuela      | Aumento de la producción de pimiento con la fertilización de estiércol de pollo compostado comparándolo con la fertilización mineral convencional.                              | Escalona y Pire (2008)     |
| <b>Pimiento</b><br>( <i>Capsicum annuum</i> )            | Gallinaza          | Jordania       | Peor producción de pimiento con la fertilización de gallinaza comparándola con el estiércol de oveja y vaca.  | Abu-Zahra (2011)           |
| <b>Sandía</b><br>( <i>Citrullus lanatus</i> )            | Gallinaza          | Nigeria        | Aumento de la producción de sandía con el incremento de la dosis de gallinaza.  | Dauda et al. (2008)        |
| <b>Sandía</b><br>( <i>Citrullus lanatus</i> )            | Gallinaza          | Reino Unido    | Menor producción y calidad de la sandía fertilizada con gallinaza respecto de la fertilización mineral convencional.  | Kee y Wootten (1995, 1996) |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) | Gallinaza          | Italia         | Aumento de la producción de tomate con una fertilización convencional (NPK) suplementada con gallinaza.   | Giardini et al. (1992)     |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Gallinaza          | Nigeria        | Aumento de la producción de tomate con la fertilización de gallinaza.   | Oikeh y Asiegbu (1993)     |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Gallinaza          | Nigeria        | Aumento significativo de la producción de tomate con la fertilización de gallinaza respecto de la fertilización mineral convencional u otros fertilizantes orgánicos.           | Asiegbu y Oikeh (1995)     |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Estiércol de pollo | Estados Unidos | Aumento significativo de la producción de tomate y precocidad en la maduración del fruto, con la fertilización de estiércol de pollo respecto de la fertilización convencional. | Brown et al. (1995)        |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Estiércol de pollo | Estados Unidos | Aumento significativo de la producción de tomate con la fertilización de estiércol de pollo compostado comparables con la fertilización mineral convencional.                   | Hamilton y Sims (1994)     |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Estiércol de pollo | Nigeria        | Aumento significativo de la producción de tomate con la fertilización de estiércol de pollo comparándolo con la fertilización mineral convencional.                             | Akanni y Ojeniyi (2007)    |
| <b>Tomate</b><br>( <i>Lycopersicon esculentum</i> )      | Gallinaza          | Turquía        | Aumento significativo de la producción con la fertilización de gallinaza comparándolo con la fertilización mineral convencional.  | Demir et al. (2010)        |

#### 1.2.4. Factores limitantes en el uso agrícola del estiércol de pollo

A pesar de los beneficios de la aplicación agrícola del estiércol de pollo, hay que tener en cuenta que ciertas características podrían limitar su utilización:

- Exceso de salinidad: el contenido en sales solubles, medidas por su conductividad eléctrica, suele ser elevada en este tipo de estiércoles (Beloso, 1991; Carballas, 1996; Li-Xian et al., 2007; Haynes y Judge, 2008; Azeez y Van Averbeke, 2012). Dependiendo de las condiciones climáticas y la dosis aplicada, puede aumentar la conductividad eléctrica de los suelos hasta superar los  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , lo que puede afectar a la germinación de las semillas, al crecimiento de las plantas, o incluso empeorar la estructura del suelo (Weil et al., 1979; Mufwanzala y Dikinya, 2010). Este problema puede ser preocupante en regiones áridas o semiáridas, sin embargo en zonas húmedas se minimiza por el continuo lavado del agua de lluvia a la que se ven sometidos los suelos.

- Exceso de nutrientes: la cantidad de nitrógeno total, que casi duplica al del estiércol tradicional de vacuno, podría ocasionar problemas de lixiviación en forma de nitratos hacia los acuíferos, así como problemas de contaminación debido a la volatilización del N inorgánico en forma amoniacal hacia la atmósfera (Kingery et al., 1994; Carballas, 1996; Wood et al., 1996; Jarvis et al., 1997; Marshall et al., 1998; Kuykendall et al., 1999; Tewolde et al., 2008; He et al., 2009; Amanullah et al., 2010; Baranyai, 2011; Netthisinghe et al., 2011; Williams, 2012).

- Contaminantes microbianos: aunque la población microbiana en este tipo de estiércoles es elevada (Omeira et al., 2006) y resulta beneficiosa en el suelo, también puede ser un foco de infecciones y dispersión de patógenos. Un tratamiento previo de acondicionamiento, como el compostaje, evitaría este problema (Hansen et al., 1990; Díaz-Fierros, 1996; Cooperband y Middleton, 1996; Williams, 2012).

- Contenido en metales: su presencia en este tipo de estiércol es muy variable (Tabla 6). Los metales pueden provenir del uso de oligoelementos (As, Se, Zn) como suplemento alimenticio en los piensos de las aves o también a partir de fitosanitarios usados para el control de ciertas plagas en las naves (Nicholson et al., 1999; Bednar et al., 2003; Bolan et al., 2004; Brown et al., 2005).

- Olor molesto: por el alto contenido en amonio, el estiércol de pollo fresco produce un olor desagradable, lo que ocasiona habitualmente molestias (Mukhtar et al., 2004). Esta situación se puede solucionar tratando los estiércoles frescos con un proceso de compostaje (Hansen et al., 1990; Menoyo, 1995; Cooperband y Middleton, 1996; Flynn y Wood, 1996; Sartaj et al., 1997; Brodie et al., 2000; Williams, 2012) o por deshidratación (John et al., 1996; Koerner et al., 2003).

#### 1.2.5. Tratamientos de estiércol fresco de pollo

A nivel mundial, dependiendo del desarrollo tecnológico de cada país, se están empleando diferentes métodos para tratar el estiércol de granjas avícolas, evitando

que termine en vertederos o almacenándose inadecuadamente, con las consiguientes consecuencias medioambientales. Teniendo en cuenta que el proceso puede realizarse en presencia de oxígeno o no, se dispone de las siguientes técnicas para transformar el estiércol avícola:

- **Digestión anaerobia:** los procesos anaerobios se dan durante el periodo de almacenamiento del estiércol, tanto en montones de gallinaza como en fosas (Burton y Turner, 2003). Consisten en la degradación de los componentes del estiércol por medio de bacterias que viven en ausencia de oxígeno. Partiendo de esta idea se han desarrollado fundamentalmente dos sistemas anaerobios aplicables en la transformación del estiércol:

Tanques estancos: su uso está limitado a zonas donde hay una gran concentración de explotaciones avícolas y donde prácticamente no se dispone de superficie agrícola para usar el estiércol como elemento fertilizante. Los costes de construcción no son muy altos y su funcionamiento es sencillo: los excrementos caen a unos canales o vías de recogida y, desde ahí, se transportan hacia una gran fosa de almacenaje situada en un extremo de la explotación (Sims y Wolf, 1994; Glatz et al., 2011). La descomposición del estiércol es lenta, obteniéndose una gallinaza con una humedad alta (75-80 %) que da lugar a olores desagradables. Se produce pérdida de N hacia la atmósfera de más del 80 % en forma amoniacal (Safley, 1987; Menoyo, 1995).

Digestores: son tambores herméticos en los cuales se introduce el estiércol avícola, siendo removido constantemente, manteniéndolo a una temperatura constante de 35 °C y en ausencia de oxígeno (Safley, 1987; Kelleher et al., 2002; Glatz et al., 2011). El producto final que se obtiene es biogás (metano y anhídrido carbónico), que se puede utilizar directamente para calentar agua, etc o se puede transformar en energía eléctrica. Además, en el digestor, tras terminar el proceso, se obtiene un residuo semisólido libre de olores y rico en N, P, K, que se puede emplear como fertilizante. El principal problema de este sistema radica en el elevado coste de construcción de los digestores y posterior manejo de los mismos (Kelleher et al., 2002; Glatz et al., 2011; Williams, 2012).

Reactores de pirolisis rápida de lecho fluidizado: constan de varios elementos, entre ellos, secador, triturador, reactor, ciclón y condensador, siendo en el reactor donde realmente se aprovecha el estiércol de pollo. Por la parte inferior del reactor es introducido el agente de fluidización (gas inerte), propiciando las reacciones del proceso. El estiércol, al estar en contacto con el agente de fluidización, se degrada térmicamente y va perdiendo peso; en este proceso ocurren dos fenómenos importantes: la formación de pequeñas partículas de carbón y cenizas, y la formación de vapores y gases. Los carbones y la ceniza arrastrados por la corriente del agente de fluidización son extraídos en un colector de partículas y los vapores son condensados para obtener combustible (Faxas et al., 2009; Agblevor et al., 2010; Moreki y Chiripasi, 2011).

- **Digestión aerobia:** necesita de la presencia de oxígeno para que las bacterias puedan descomponer el estiércol avícola (Burton y Turner, 2003). Existen varios métodos que se basan en procedimientos aerobios para transformar el estiércol:

Tanques: son similares a los tanques estancos, pero en este caso, la parte superior del mismo está abierta (Burton y Turner, 2003). Según como se aporte el oxígeno al tanque, se pueden diferenciar dos tipos:

- a- Tanques naturalmente oxigenados: su profundidad es siempre inferior a un metro, de similares características constructivas a los tanques estancos. Son de bajo coste y producen pocos olores, pero la capacidad de los mismos es limitada, quedando condicionado el proceso por las temperaturas ambientales existentes.
- b- Tanques oxigenados de forma mecánica: donde se hace uso de una bomba o soplador, aportando el oxígeno necesario para que se lleve a cabo una oxidación correcta de la gallinaza, lo que supone un gasto adicional de compra y mantenimiento de la bomba o soplador.

En este tipo de transformaciones, los olores producidos por la volatilización del amoníaco hacia la atmósfera son considerables, llegando a perderse más del 80 % del nitrógeno inicialmente contenido en el estiércol avícola (Barker et al., 1980).

Fosas abiertas: se basan fundamentalmente en los mismos principios que los tanques oxigenados de forma mecánica. En este caso, se necesita hacer un hoyo en el suelo de la nave, por el cual, cada cierto tiempo, pasa un rotor o una bomba proporcionando oxígeno al estiércol semilíquido procedente de las aves enjauladas y situadas encima de dicho hoyo. Este sistema reduce bastante el mal olor, los costes de recogida y el transporte, pero su construcción, instalación y mantenimiento es costoso (Martín, 1992).

Compostaje: compostando el estiércol avícola se consigue estabilizar la materia orgánica, eliminar ciertos patógenos y semillas de malas hierbas, obteniendo un producto uniforme, seco y sin olor. Para lograrlo es necesario disponer, en función del método empleado, de tiempo y cierta inversión en mano de obra, espacio y maquinaria.

Carbonización: proceso por el cual, el estiércol de pollo es secado, molido, pasado por un horno rotatorio y por último por una cámara de enfriamiento. Con estas cuatro fases se consigue obtener carbono activado, esencialmente en el horno rotativo, donde tiene lugar la carbonización y activación de la gallinaza (gasificación del estiércol a altas temperaturas). Su aplicación se está centrando fundamentalmente en el tratamiento de metales de aguas contaminadas (Guo et al., 2010).

Incineración: este es el método menos eficiente y más caro de todas las formas que existen de procesar el estiércol avícola, ya que los nutrientes presentes en la gallinaza se pierden hacia la atmósfera, con los consiguientes malos olores y emisión de partículas (Kelleher et al., 2002; Fariduller et al., 2009; Moreki y Chiripasi, 2011; Stingone y Wing, 2011; Williams, 2012). Además, al finalizar el proceso, hay que extraer la ceniza que queda (supone un 10-30 % del material inicial), y tan solo se puede usar como enmendante del suelo (Martin et al., 1983; Kelleher et al., 2002; Habetz y Echols, 2006).

Deshidratación: en todos los tratamientos anteriormente expuestos, es necesario, para que se produzca un buen procesado del estiércol, añadir agua, lo que supone un coste, y casi siempre conlleva problemas de fermentaciones anaeróbicas, malos olores y lixiviación de nutrientes (Kroodsma, 1986). Con el deshidratado se puede conseguir un estiércol más rico en nutrientes, pudiéndose emplear como fertilizante o ingrediente en la alimentación del ganado (mezclándolo en la ración, ensilándolo, precocinándolo, etc). Los sistemas de deshidratado que se pueden usar para secar la gallinaza a nivel mundial, son:

- a. *Fosa*: las aves están encerradas en jaulas, y debajo de éstas se sitúa un hoyo con cierta profundidad, donde se van depositando los excrementos, que se van secando paulatinamente por ventilación natural, hasta alcanzar una humedad aproximada del 17 %. Los costes de construcción y manejo son bajos, el material una vez seco es fácil de almacenar, pudiéndose usar como fertilizante (Akers et al., 1975; Valli et al., 1991; Charles, 1992).

Aún así, en este sistema se produce una importante pérdida de nitrógeno, en forma de amoníaco hacia la atmósfera, el material seco puede contener patógenos, y solo se puede usar en aquellas regiones donde la climatología permita que, con la ventilación natural, se pueda secar el estiércol (Day, 1980; Valli et al., 1991; Charles, 1992).

- b. *Suelos emparrillados*: debajo del suelo se disponen dos espacios situados a distinto nivel, la parte superior del primero de ellos está cubierto por tablillas separadas entre sí 10 cm, mientras que, en el segundo espacio, la separación de las tablillas se reduce. De esta forma, en el primer nivel se seca parcialmente el estiércol que cae al segundo nivel donde sigue su proceso de secado, hasta que se va depositando finalmente seco en el hoyo que hay debajo de este último nivel (Jones y Friday, 2012). Durante su procesado no se desprenden malos olores, ni se producen emisiones amoniacales a la atmósfera, consiguiéndose un producto con una humedad del 15 %, que se puede utilizar como fertilizante o en alimentación animal (Sommer y Hutchings, 1995).

La contrapartida es que es necesario hacer una instalación costosa, además de vaciar y limpiar cada seis meses las instalaciones (Elson y King, 1975).

- c. *Cintas de secado*: en este sistema se diferencian dos partes. En la primera fase el estiércol se deposita en cintas, que lo mueven y consiguen reducir la mayor parte de su humedad, no permaneciendo más de siete días; en la segunda fase el producto resultante se almacena en el interior de una nave, donde se va depositando en capas sucesivas, desarrollándose en este tiempo una fermentación anaerobia de la gallinaza, que reduce, en no más de seis semanas, la humedad al 15 %. Este sistema muestra ciertos inconvenientes, como el coste de construcción y mantenimiento de la cinta de secado y nave de almacenamiento, además de pérdidas importantes de nitrógeno (Kroodsma, 1986; Martín, 1992; Menoyo, 1995).
- d. *Deshidratado mediante secadores mecánicos*, donde se incluyen varios sistemas diferentes de secado, de los cuales, algunos ya están obsoletos, como las bandejas deshidratadoras (Akers et al., 1975):
  - Secadores-agitadores: por este sistema se consigue un producto parcialmente esterilizado y con un coste más bajo. Sin embargo, la capacidad de procesado es limitada, la esterilidad de la gallinaza es parcial y se producen importantes pérdidas de nutrientes (Akers et al., 1975; Röper et al., 2005).
  - Secador de tambor rotativo con calor directo: se emplean temperaturas muy altas, consiguiéndose una calidad de producto muy buena. Permite utilizar estiércoles con porcentajes de humedad distintos, y la mano de obra necesaria es mínima. En contra de este sistema de procesado está el hecho de que los costes de construcción, mantenimiento y funcionamiento son altos, la esterilidad del producto no es total cuando funciona de forma intermitente y las pérdidas de nutrientes pueden ser altas (Akers et al, 1975; Koerner et al., 2003).
  - Secador neumático: se trata del mejor de los sistemas de deshidratado, ya que con una velocidad de paso alto del estiércol y una llama de gas baja se consigue minimizar el mal olor, se puede instalar en un espacio reducido y las pérdidas de nutrientes son mínimas. Pero habitualmente es necesario emplear una llamarada grande de manera que el producto esté totalmente esterilizado y no se formen bolas por excesiva humedad en la gallinaza (Akers et al, 1975; Hamilton y Sims, 1994).

En definitiva, el proceso de deshidratación podría ser una herramienta muy interesante para minimizar los aspectos negativos del manejo de los estiércoles frescos de pollo. El secado reduce el contenido de humedad, con lo cual el producto resultante es más fácil de almacenar, transportar y aplicar en campo (John et al.,

1996; Koerner et al., 2003). Se elimina por tanto el problema de los lixiviados y los malos olores, y se consigue un abono totalmente higienizado, todo ello incrementando el valor económico del estiércol como abono o como alimento animal.

## 2. Transformación de estiércol fresco de pollo de engorde: producción y procesado por la empresa Aviporto S.L.

---

La empresa AVIPORTO S.L., dedicada a la cría y engorde de broiler (figura 2), ha experimentado desde el año 1997 una fuerte expansión, creciendo desde entonces su producción (en cuanto al número de pollos criados por camada) en un 1240 %. Esto ha repercutido directamente en un aumento muy importante en la producción de estiércol fresco de pollo, lo que ha llevado al gerente de la empresa a buscar una salida ambientalmente adecuada para gestionar este subproducto.



Figura 2  
Broilers en una nave de engorde en la explotación Aviporto S.L.

Hasta la fecha, era costumbre que este tipo de estiércol lo usasen los agricultores de la zona como abono, siendo este el método más barato de utilización. No obstante, la gran cantidad generada en la actualidad, que ronda de media las 1.400 toneladas al año, hace que esta vía no sea suficiente para dar salida a todo el estiércol, produciéndose problemas ambientales derivados de su almacenamiento.

A continuación se hace una descripción de la explotación avícola Aviporto S.L., así como de las principales innovaciones acometidas en lo referente al tratamiento del estiércol que esta empresa genera.

## 2.1. Descripción de la explotación avícola Aviporto S.L.

La explotación de aves se encuentra en una parcela situada en la margen izquierda de la carretera comarcal de Becerreá a Ventas de Narón, LU-535, Km. 59,100, en el lugar conocido como "Toxibó" perteneciente a la parroquia de Gonzar, en el Municipio de Portomarín, en la provincia de Lugo (figura 3).



Figura 3  
Vista general de la explotación avícola Aviporto S.L.

Tiene una superficie de 49.710 m<sup>2</sup>, donde existen siete naves destinadas al engorde de pollos, cuyas dimensiones se pueden ver en la figura 4. A estas siete naves hay que sumarles otras tres más, con una superficie de 1.320 m<sup>2</sup> cada una de ellas, situadas en otra parcela diferente a la anterior, distante unos 30 km.

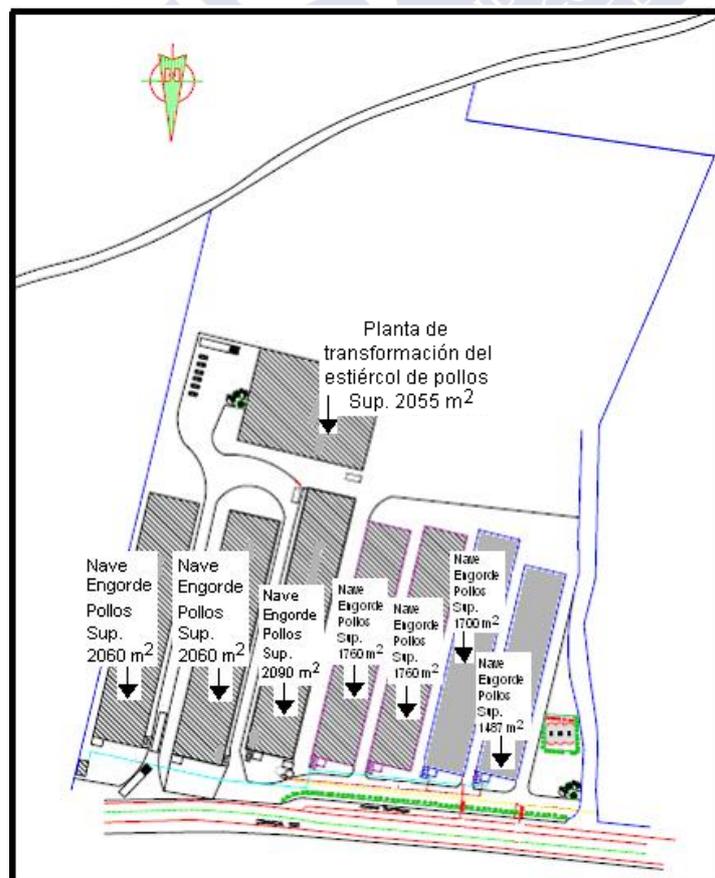


Figura 4  
Plano de emplazamiento de la explotación avícola Aviporto S.L.

La explotación de cebo de aves tiene una capacidad para 220.000 pollos por ciclo de producción. Se utiliza una densidad de 24 pollos  $m^2$  y 6 ciclos de producción anuales, con lo cual la producción total de la empresa Aviporto S.L. es de 1.860.048 pollos año<sup>-1</sup>.

Es un tipo de producción intensiva, controlada y temporizada. Cada ciclo empieza y termina con la retirada de estiércol, limpieza y desinfección de todas las instalaciones y reposición de nueva cama de cascarilla de arroz, con una duración por ciclo de 51 a 63 días. Cuando la nave está completamente limpia y la cama extendida y nivelada, se llenan los silos de pienso y se incorporan los pollitos con un día de vida. Se colocan todos los comederos y bebederos y se ponen en funcionamiento todas las instalaciones de agua, calefacción y ventilación.

La alimentación se realiza ad-libitum, de forma automatizada. Las bajas por ciclo en esta explotación varían entre un 5-8 %. Estas bajas se almacenan en contenedor y son tratadas fuera de la explotación por una empresa gestora autorizada.

## 2.2. Planta de transformación del estiércol de pollo

Para el almacenamiento del estiércol de pollo hasta ser tratado, la planta de transformación dispone de una zona de recepción y almacenaje (figura 5).

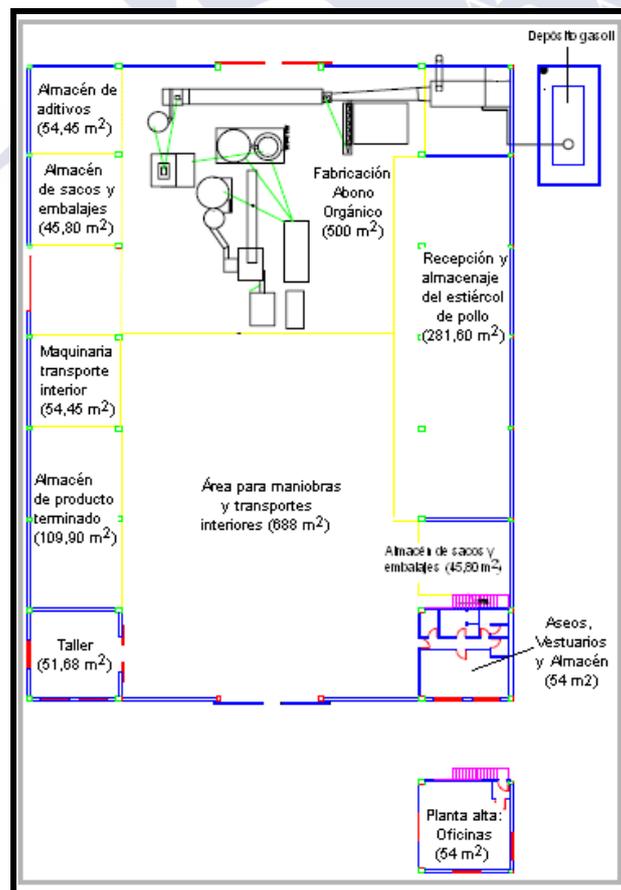


Figura 5  
Esquema general de la planta de transformación del estiércol de pollo

El estiércol se retira de los alojamientos ganaderos y se lleva a la nave mediante dos palas autopropulsadas con capacidad de 1 a 3 m<sup>3</sup>, donde permanece en la zona de recepción y almacenaje hasta entrar en el proceso de fabricación de abonos (figura 6). Es un lugar cerrado con tejado y suelo impermeables, pero con huecos de ventilación suficientes y amplias puertas de acceso.



Figura 6  
Zona de recepción y almacenaje del estiércol de pollo

Dentro de esta nave además de haber una superficie destinada al almacenamiento del estiércol (281,60 m<sup>2</sup>) (figura 6), también hay espacio para un almacén de maquinaria para el transporte interior (54,45 m<sup>2</sup>), almacén de sacos y embalajes (108,9 m<sup>2</sup>), almacén de aditivos (54,45 m<sup>2</sup>), área de fabricación de abono (500 m<sup>2</sup>) (figura 7), almacén de producto terminado (109,90 m<sup>2</sup>) (figura 8), taller (51,68 m<sup>2</sup>), área para maniobras y transportes interiores (688 m<sup>2</sup>), oficinas (54 m<sup>2</sup>), aseos y vestuarios (54 m<sup>2</sup>).



Figura 7  
Fábrica de transformación del estiércol de pollo



Figura 8  
Almacén del producto terminado en big-bags

### *2.3. Proceso de deshidratación y granulación del estiércol producido en Aviporto S.L.*

En el proceso de deshidratación y granulación, se diferencian los siguientes pasos, que se esquematizan en la figura 9:

1) Carga en **tolva de recepción**: el estiércol fresco se introduce en una tolva, mediante pala cargadora, a partir de la cual se iniciará el proceso de fabricación.

2) **Deshidratación**: se lleva a cabo haciendo pasar el estiércol a través de un trómel de secado, donde se alcanzan temperaturas de 250 °C.

3) **Trituración:** el producto seco ya libre de patógenos y con el porcentaje de humedad adecuada es trasladado mediante un tornillo sin fin hasta un ciclón, desde el cual el estiércol se introduce en un molino de martillos, donde se procede a su trituración.

4) **Almacenamiento del producto triturado:** el producto triturado, mediante una corriente de aire, es impulsado hasta los silos de almacenamiento.

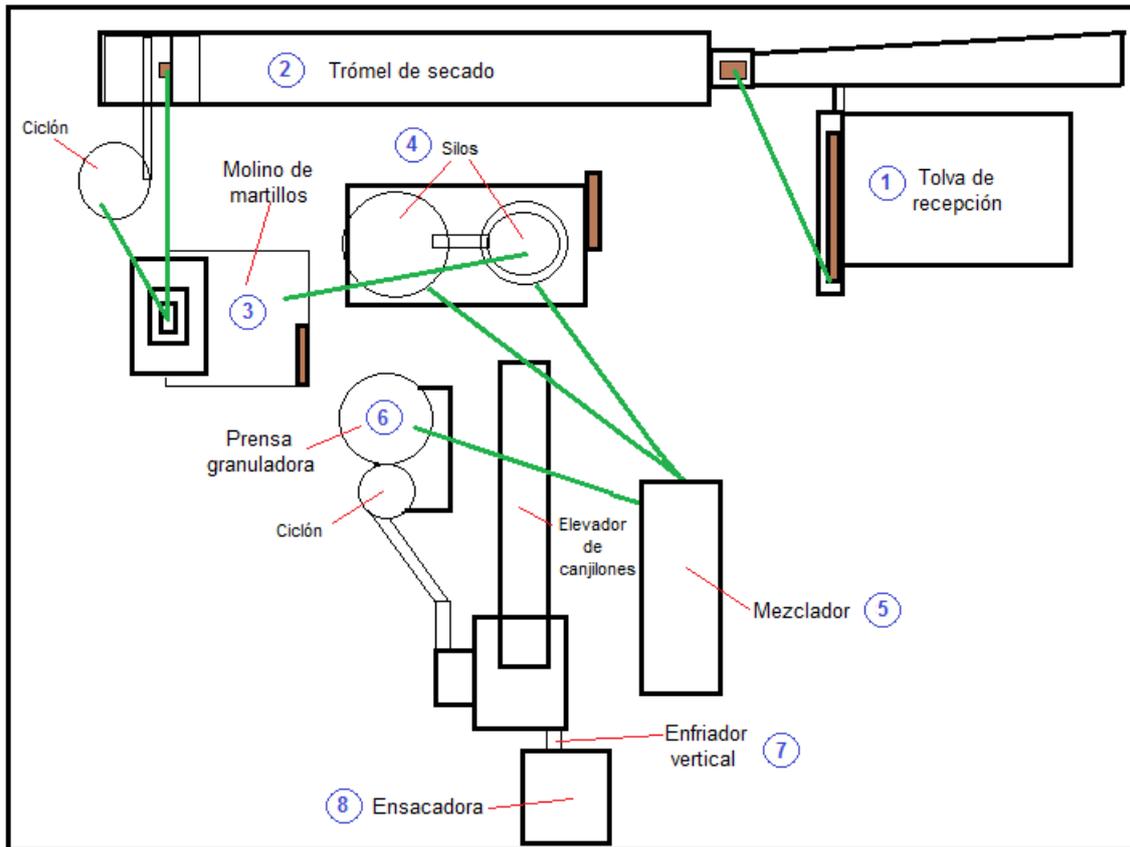


Figura 9  
Diagrama del proceso de transformación del estiércol de pollo

5) **Mezclador:** desde los silos de almacenamiento, el producto es trasladado mediante tornillo sin fin hasta el mezclador, en el cual se produce la homogeneización y mezcla de los componentes del producto triturado.

6) **Granulación:** desde el mezclador el producto resultante es trasladado a una tolva, desde la cual se procederá a la alimentación de la prensa granuladora, donde se producirán los gránulos a alta temperatura, y que por gravedad pasarán a un enfriador vertical contracorriente, mediante el cual se conseguirá el acabado óptimo de los gránulos.

7) **Enfriamiento:** una cinta transportadora eleva los pellets hasta el equipo de enfriamiento, en donde se reduce la temperatura de los gránulos, lo que les proporciona unas condiciones de dureza y consistencia adecuadas para su

almacenamiento en sacos, transporte y aplicación, obteniéndose un producto final estable en cuanto a sus características físicas y químicas (Cabaleiro, 2001).

8) **Ensacado:** desde el equipo de enfriamiento se transporta el producto, mediante un elevador de canjilones hasta un ciclón desde el que se alimenta la ensacadora (figura 10), que dispone de un dispositivo para el control del peso de los sacos.



Figura 10  
Proceso de ensacado del estiércol deshidratado y granulado

#### 2.4. Definición de fertilizante orgánico

Según el Real Decreto 824/2005 de 8 de julio, por el que se aprueba la normativa básica en materia de productos fertilizantes en España (B.O.E. nº 171, de 19 de julio de 2005), todos aquellos productos *“utilizados en agricultura o jardinería que, por su contenido en nutrientes, facilitan el crecimiento de las plantas, aumentan su rendimiento y mejoran la calidad de las cosechas o que, por su acción específica, modifican, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas”* se encuadran en los grupos de abonos, productos especiales y enmiendas.

Se denominan abonos orgánicos a aquellos *“cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal, obtenidos por tratamiento, con o sin mezcla, de materias orgánicas animales y vegetales”*. El término producto especial se refiere a *“productos que aportan a otro material fertilizante, al suelo o a la planta, sustancias para favorecer y regular la absorción de los nutrientes o corregir determinadas anomalías de tipo fisiológico”*. Mientras que enmienda es *“cualquier materia orgánica o inorgánica, capaz de modificar o mejorar las propiedades y características físicas, químicas o biológicas del suelo”*.

Las características de composición y las cantidades mínimas y/o máximas de elementos principales (N, P, K), elementos secundarios (Ca, Mg, S, Na), oligoelementos (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) y metales, que la legislación exige para que un determinado producto pueda ser considerado abono orgánico se muestran en la tabla 9.

Así mismo, la legislación fija unos niveles máximos en agentes patógenos que no podrán superar los productos constituidos por materias primas de origen vegetal o animal, contribuyendo de esta manera a garantizar que los fertilizantes orgánicos registrados no produzcan efectos nocivos para la salud (tabla 10).

Tabla 9

Características de composición y rangos de elementos principales, elementos secundarios, oligoelementos y metales que debe tener un abono orgánico en cualquiera de sus presentaciones comerciales (nitrogenados, fosfatados, etc), según la legislación española sobre productos fertilizantes (B.O.E. nº 171, de 19 de julio de 2005)

| <b>Características del abono orgánico</b>            | <b>Porcentaje en peso</b>                   |
|--|---|
| N total  | > 1-6 %                                     |
| N orgánico   | > 1-2 %                                     |
| N nítrico  | < 1,5 %                                     |
| N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O | > 4-6 %                                     |
| N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    | > 6-8 %                                     |
| N + K <sub>2</sub> O                                 | > 1-6 %                                     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                        | > 3-25 %                                    |
| K <sub>2</sub> O                                     | > 1-3 %                                     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O     | si superan el 1 %                           |
| C orgánico   | el que presente                             |
| Relación C/N   | < 6-15 %                                    |
| Ácidos húmicos                                       | si superan el 1 %                           |
| Humedad  | mínima y máxima                             |
| pH   | el que presente                             |
| <b>Elementos secundarios</b>                         | <b>Porcentaje en peso</b>                   |
| Magnesio (MgO)                                       | > 2 %                                       |
| Sodio (Na <sub>2</sub> O)                            | > 3 %                                       |
| Azufre (SO <sub>3</sub> )                            | > 5 %                                       |
| Calcio (CaO)   | > 2 %                                       |
| <b>Oligoelementos</b>                                | <b>Porcentaje en peso</b>                   |
|  | <b>Para cultivos hortícolas</b>             |
| Boro (B)   | > 0,01 %                                    |
| Cobalto (Co)   | -   |
| Cobre (Cu)   | > 0,002 %                                   |
| Hierro (Fe)  | > 0,02 %                                    |
| Manganeso (Mn)                                       | > 0,01 %                                    |
| Molibdeno (Mo)                                       | > 0,001 %                                   |
| Zinc (Zn)  | > 0,002 %                                   |
| <b>Metales*</b>                                      | <b>(mg kg<sup>-1</sup> de materia seca)</b> |
| Cadmio (Cd)  | 0,7-3                                       |
| Cobre (Cu)   | 70-400                                      |
| Níquel (Ni)  | 25-100                                      |
| Plomo (Pb)   | 45-200                                      |
| Zinc (Zn)  | 200-1000                                    |
| Mercurio (Hg)  | 0,4-2,5                                     |
| Cromo (Cr)   | 70-300                                      |

\*Cantidades de metales que no se deben superar

Tabla 10

Niveles máximos en agentes patógenos que puede tener un fertilizante orgánico, según la legislación española sobre productos fertilizantes (B.O.E. nº 171, de 19 de julio de 2005)

| Agentes patógenos       | Cantidades máximas   |
|-------------------------|--|
| <i>Salmonella</i>       | Ausente en 25 g de producto elaborado                            |
| <i>Escherichia coli</i> | < 1000 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado |

Los fertilizantes que reúnan estas características se podrán aplicar al suelo directamente o después de un período de fermentación o compostaje (B.O.E. nº 171, de 19 de julio de 2005).

### 2.5. Fertilizante BIOF-1

El abono BIOF-1, producido por la empresa Aviporto S.L. es comercializado según las características que aparece en la etiqueta de ensacado de la figura 11. Según la cual, y teniendo en cuenta la Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo de 2011 (B.O.E., 25/03/2011), se puede considerar un abono orgánico NPK de origen animal.



Figura 11

Etiquetado del saco de 25, 20 y 4 kg del fertilizante orgánico BIOF-1 (Aviporto, 2013)

Los abonos orgánicos NPK de origen animal se obtienen a partir de excrementos animales, con o sin cama. Cuando son de origen animal, el producto que se obtiene procede de la fermentación de los mismos, siendo su consistencia sólida. Este tipo de abono orgánico se clasifica dentro del grupo dos de la Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo de 2011 (B.O.E., 2011) (tabla 11).

Tabla 11

Clasificación de abonos orgánicos NPK (Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo de 2011. B.O.E., 2011)

| Grupo 2: abonos orgánicos NPK       |   |   |   |   |
|-------------------------------------|---|---|---|---|
| Denominación del tipo               | Informaciones sobre la forma de Obtención y los componentes esenciales  | Contenido mínimo en nutrientes (% en masa).<br>Información sobre la evaluación de los Nutrientes.<br>Otros requisitos | Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado | Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse.<br>Formas y solubilidad de los nutrientes.<br>Otros criterios |
| Abono orgánico NPK de origen Animal | Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales, - con o sin cama -, sin ácidos minerales.<br>Se incluyen los restos de pescado compostado | N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O: 6 %   | Humedad mínima y máxima.  | N total y N orgánico  |
|                                     |   | C/N <10   | -   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total   |
|                                     |   | Cada nutriente > 1,5 %  | -   | K <sub>2</sub> O total  |
|                                     |   | El N orgánico debe ser al menos un 50 % de N total, con un mínimo del 1 %   | -   | C orgánico  |
|                                     |   | El N nítrico < 1,5 %  | -   | C/N   |
|                                     |   | -   | -   | Ácidos húmicos (si superan el 1 %)  |

El estiércol no es más que un fertilizante orgánico sólido resultante de la fermentación de la mezcla del excremento procedente de los animales (vacuno, porcino o avícola), con un material orgánico utilizado como cama para el ganado, en cuadras tradicionales o en naves industriales (Summers, 1977). La cama tiene una doble finalidad, ya que, por un lado, facilita la absorción de los excrementos y, por otro, permite aislar a los animales del suelo (Simpson, 1986; Sims y Wolf, 1994).

Normalmente, las camas tienen un bajo contenido en nutrientes para las plantas (Bebgtsson et al., 1954; Mondini et al., 1996), y su principal valor se basa en su capacidad para fijar el amonio de los excrementos (Keemppainen, 1987; Mahimairaja et al., 1994; Raviv et al., 1999). Los materiales más empleados como cama son la paja, las virutas de pino y el serrín.

Otros materiales utilizados para cama, aunque ya en desuso, son distintas plantas silvestres. Por ejemplo, en Galicia, hasta pasada la mitad del siglo XX, en los establos del ganado vacuno, la cama tradicionalmente utilizada para obtener el estiércol consistía en plantas de tojo (*Ulex europaeus*) y también de helechos (*Pteridium aquilinum*), etc, dependiendo de la disponibilidad de especies en cada zona. En el piso de los establos, donde dormía el ganado, se echaba una capa de tojo, que solía ir acompañada de algunas plantas herbáceas, como helechos y diversas gramíneas (Xunta de Galicia, 1992).

Un material de reciente utilización como cama del ganado es la cascarilla de arroz. En Galicia, en particular, se ha extendido su uso en explotaciones de pollos de engorde, donde es habitual emplear como cama serrín o virutas de pino. La cascarilla de arroz es un absorbente muy eficaz de la humedad (Sweeten, 1988; Sims y Wolf,

1994) y constituye una importante fuente de carbono para el estiércol avícola usado como fertilizante.

### 3. Aplicación del estiércol de pollo de engorde en cultivos hortícolas

#### 3.1.- Importancia del sector hortícola en España

En la tabla 12 se presenta la superficie de las especies hortícolas más cultivadas a nivel mundial. El cultivo de tomate ocupa una superficie cercana a los cuatro millones y medio de hectáreas, siendo los guisantes verdes la siguiente hortaliza de mayor superficie cultivada, superando los dos millones de hectáreas. En cuanto al pimiento y la lechuga, ambas, junto con las judías verdes, y la coliflor y el brécol, ocupan superficies por encima del millón de hectáreas (FAOSTAT, 2012).

Tabla 12  
Superficie cultivada en 2010 de hortalizas a nivel mundial (FAOSTAT, 2012)

| Cultivos                            | Superficie<br>(miles de hectáreas) |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Cebolla                             | 215,1                              |
| Coliflor y brécol                   | 1.136,9                            |
| Guisantes verdes                    | 2.150,9                            |
| Judías verdes                       | 1.495,4                            |
| Lechuga y achicoria                 | 1.111,4                            |
| Pimiento, pimiento picante y chiles | 1.878,8                            |
| Tomate                              | 4.412,6                            |

Dentro de la UE-27, España ocupó, en el año 2009 el segundo puesto en superficie dedicada a los cultivos hortícolas, con 255.000 hectáreas, por detrás de Italia (tabla 13). Sin embargo, España obtuvo el mayor rendimiento con estos cultivos (390 kg ha<sup>-1</sup>) de todos los países de la UE-27, y produjo un total de 9.941.000 de kilogramos de hortalizas, solamente superado por la producción italiana (11.668.000 kg).

Tabla 13  
Superficie cultivada, rendimiento y producción en 2009 de hortalizas en la UE-27, y algunos países miembros (Informe Comisión Europea, 2012)

| Hortalizas<br>Países | Superficie<br>(miles de ha) | Rendimiento<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Producción<br>(1000 t) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Alemania             | 113                         | 324                                   | 3.662                  |
| Francia              | 245                         | 231                                   | 5.638                  |
| Italia               | 384                         | 304                                   | 11.668                 |
| Polonia              | 207                         | 214                                   | 4.810                  |
| Rumanía              | 267                         | 147                                   | 3.895                  |
| España               | 255                         | 390                                   | 9.941                  |
| <b>UE-27</b>         | <b>2.085</b>                | <b>247</b>                            | <b>49.320</b>          |

Según la información estadística y económica agrícola de la UE-27, en el año 2011 en la UE-27 se produjo un incremento en la producción de hortalizas de un 8,7 %, siendo España el tercer país con un mayor incremento (15,4 %), por detrás tan solo de Malta (27,1 %) y Grecia (18,2 %). Este incremento se dio a pesar de ser un muy mal año para el sector hortícola, debido a la crisis sanitaria del pepino, que estalló en mayo, y donde pepinos, tomates y lechugas fueron sospechosas de ser contaminadas con *E. coli*, lo que llevó a que se dejaran de consumir, además de ser prohibidas su importación de forma temporal, en países como Rusia.

El peso económico que representó el sector hortofrutícola dentro de toda la producción agrícola española en el año 2010 fue indiscutible (38,2 %), lo que equivalió a más de un tercio del total de la producción agrícola nacional (tabla 14). Ningún otro país de la UE-27 concentró tanto su producción en productos frutícolas y hortícolas como España, sólo Italia con un 31,3 %, tuvo una situación parecida (tabla 14).

Tabla 14

Peso en porcentaje de los distintos productos agrícolas dentro de la producción total agrícola en la UE-27, y algunos países miembros en el año 2010 (Informe Comisión Europea, 2012)

| Productos agrícolas<br>País | Cereales (%) | Futas y hortalizas (%) | Vino (%)   | Otros productos agrícolas (%) | Vacuno (%) | Porcino (%) | Aviar y huevos (%) | Leche (%)   | Otras producciones animales (%) | Servicios producción agrícola (%) |
|-----------------------------|--------------|------------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------|--------------------|-------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Alemania                    | 12,3         | 11,2                   | 2,5        | 23,5                          | 6,6        | 15,3        | 6,7                | 16,3        | 1,4                             | 4,2                               |
| Francia                     | 13,7         | 13,2                   | 13,2       | 17,4                          | 11,9       | 4,7         | 6,4                | 11,5        | 2,3                             | 5,7                               |
| Italia                      | 7,6          | 31,3                   | 9,0        | 11,6                          | 7,7        | 5,9         | 7,2                | 10,5        | 3,0                             | 6,3                               |
| Polonia                     | 17,2         | 12,8                   | 0,0        | 19,7                          | 5,5        | 13,6        | 14,1               | 14,1        | 0,5                             | 2,4                               |
| Rumanía                     | 15,9         | 20,7                   | 1,6        | 27,5                          | 3,5        | 7,3         | 8,6                | 10,5        | 3,1                             | 1,4                               |
| España                      | 7,7          | 38,2                   | 2,2        | 13,0                          | 6,2        | 12,6        | 8,2                | 6,7         | 4,1                             | 1,0                               |
| <b>EU-27</b>                | <b>10,9</b>  | <b>21,0</b>            | <b>4,7</b> | <b>16,7</b>                   | <b>8,7</b> | <b>9,7</b>  | <b>7,6</b>         | <b>12,9</b> | <b>3,2</b>                      | <b>4,8</b>                        |

El sector de las hortalizas factura anualmente en España 6.061,5 millones de euros, según los datos facilitados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011). La producción de hortalizas supone aproximadamente el 20 % del total de la producción vegetal española, superando ampliamente a otras importantes producciones, como el viñedo, las frutas y el olivar.

Más del 90 % de la superficie total dedicada a las hortalizas en Galicia, está ocupada por los cultivos de cebolla, coliflor, guisantes verdes, judías verdes, tomate, lechuga y pimiento. Del total de las 5.872 ha dedicadas a estos cultivos en esta comunidad, aproximadamente unas 2.200 ha se cultivan de forma protegida, lo que supone un 14 % del total de estos cultivos en Galicia (MAGRAMA, 2011).

Desde el año 2000 hasta el 2010, el tomate y el pimiento experimentaron sendos aumentos de superficie trabajada (63 % y 113 %, respectivamente). Por el contrario, se han producido descensos de superficies cultivadas en judías verdes, lechuga,

cebolla y coliflor, siendo en estas dos últimas hortalizas donde se ha producido el mayor descenso, casi un 36 % y un 74 %, respectivamente (tabla 15).

Tabla 15

Evolución de la superficie cultivada de diferentes especies hortícolas en Galicia desde el año 2000 hasta el 2010 (MAGRAMA, 2011)

| Superficie<br>(miles de ha) | Cebolla | Coliflor | Guisantes<br>Verdes | Judías<br>verdes | Lechuga | Pimiento | Tomate |
|-----------------------------|---------|----------|---------------------|------------------|---------|----------|--------|
| Años                        |         |          |                     |                  |         |          |        |
| 2000                        | 1,639   | 0,384    | 0,273               | 1,684            | 0,926   | 0,858    | 0,559  |
| 2001                        | 1,639   | 0,384    | 0,273               | 1,684            | 0,926   | 0,858    | 0,559  |
| 2002                        | 1,639   | 0,384    | 0,273               | 1,684            | 0,926   | 0,858    | 0,559  |
| 2003                        | 1,502   | 0,366    | 0,226               | 1,552            | 0,878   | 1,073    | 1,019  |
| 2004                        | 1,412   | 0,248    | 0,158               | 1,802            | 0,818   | 1,325    | 1,199  |
| 2005                        | 1,412   | 0,248    | 0,158               | 1,802            | 0,818   | 1,325    | 1,199  |
| 2006                        | 1,221   | 0,161    | 0,198               | 1,723            | 0,722   | 1,451    | 1,301  |
| 2007                        | 1,368   | 0,106    | 0,198               | 1,511            | 0,864   | 1,137    | 1,102  |
| 2008                        | 1,768   | 0,113    | 0,349               | 1,470            | 0,913   | 1,065    | 0,821  |
| 2009                        | 1,586   | 0,101    | 0,309               | 1,864            | 0,861   | 1,130    | 0,994  |
| 2010                        | 1,055   | 0,100    | 0,093               | 1,319            | 0,713   | 1,401    | 1,191  |

### 3.2.- Fertilización en cultivo de lechuga en invernadero

El tipo de lechuga más cultivada en España es la “acogollada” (*Lactuca sativa* var. *capitata*), concentrándose su producción en Murcia y provincias limítrofes.

Las lechugas tipo “romanas” (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) ocupan la segunda posición en superficie, siendo cultivadas principalmente en la zona mediterránea y en la comunidad de Castilla y León. También se cultivan en diversas zonas del país, lechugas de hoja suelta (*Lactuca sativa* var. *inybacea*).

En cuanto a la Cornisa Cantábrica y en Galicia, las más utilizadas son las lechugas acogolladas (Batavia y Mantecosa o Trocadero) (Nuez, et al., 2001).

En Galicia, en la última década el cultivo de lechuga al aire libre se ha reducido en casi un 30 %, mientras que en cultivo protegido se ha producido un aumento de la superficie cultivada superior al 40 % (tabla 16). Se trata de un cultivo muy habitualmente utilizado en las rotaciones hortícolas que en Galicia se practican en invernadero y al aire libre.

Tabla 16

Distribución de la superficie cultivada de lechuga por provincias, al aire libre o protegida, en Galicia desde 2000 a 2010 (MAGRAMA, 2011)

| Superficie<br>(miles de has)<br>Años | A Coruña | Lugo  | Ourense | Pontevedra | Galicia<br>(Aire libre) | Galicia<br>(Cultivo protegido) |
|--------------------------------------|----------|-------|---------|------------|-------------------------|--------------------------------|
| 2000                                 | 0,282    | 0,305 | 0,137   | 0,202      | 0,701                   | 0,225                          |
| 2001                                 | 0,282    | 0,305 | 0,137   | 0,202      | 0,701                   | 0,225                          |
| 2002                                 | 0,282    | 0,305 | 0,137   | 0,202      | 0,701                   | 0,225                          |
| 2003                                 | 0,286    | 0,272 | 0,140   | 0,180      | 0,647                   | 0,216                          |
| 2004                                 | 0,299    | 0,199 | 0,136   | 0,184      | 0,674                   | 0,119                          |
| 2005                                 | 0,223    | 0,185 | 0,110   | 0,204      | 0,570                   | 0,098                          |
| 2006                                 | 0,223    | 0,185 | 0,110   | 0,204      | 0,570                   | 0,098                          |
| 2007                                 | 0,292    | 0,178 | 0,178   | 0,216      | 0,702                   | 0,124                          |
| 2008                                 | 0,285    | 0,195 | 0,187   | 0,246      | 0,743                   | 0,131                          |
| 2009                                 | 0,271    | 0,152 | 0,169   | 0,269      | 0,480                   | 0,381                          |
| 2010                                 | 0,217    | 0,191 | 0,101   | 0,204      | 0,397                   | 0,316                          |

Siempre que sea posible, la lechuga deberá cultivarse después de pimientos, tomate, cebolla, etc (Messianen, 1967). Debido a la rapidez con que cubre su ciclo, sobre todo en primavera y verano, la lechuga se emplea ampliamente en las alternativas hortícolas rellenando espacios sin cultivar (Maroto, 1982).

En Galicia, es durante el periodo invernal (noviembre-febrero), donde se cultivan principalmente hortícolas de hoja en invernadero, destacando la lechuga, en combinación con cultivos de cebolla. Sin embargo, en la primavera-verano, el cultivo de lechuga se lleva en gran parte, al exterior, o se intercala con hortícolas como el tomate, pimiento y judía en las rotaciones hortícolas en invernadero (González, 2004).

El sistema radicular de este cultivo es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal la sequía, aunque sea muy breve, ya que favorece la floración. Es por ello que la humedad del suelo debe mantenerse siempre cerca del 60 % de su capacidad de campo, en los primeros 30 cm de suelo.

La lechuga necesita suelos arcillosos, ricos en materia orgánica y en nutrientes disponibles (Sonnemberg, 1985). Teniendo en cuenta las cantidades de elementos fertilizantes que este cultivo hortícola extrae a lo largo de su ciclo (tabla 17), es necesario primero llevar a cabo un abonado de fondo, en el cual se aportan 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; y posteriormente un abonado de cobertera, donde se emplean 80 kg ha<sup>-1</sup> de N y 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, fraccionando este abonado de cobertera en partes iguales en tres momentos a lo largo del desarrollo del cultivo, es decir, la primera vez tras la reposición de marras; la segunda, 15 días más tarde, y la tercera, en el inicio del arpeollado o en su fase equivalente (Gutiérrez, 2010).

Tabla 17

Cantidades de elementos fertilizantes extraídas por el cultivo de lechuga en invernadero (Stephan, 1973)

| Cultivo   | Rendimiento de materia fresca<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Elementos extraídos<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |                               |                  |
|---|--|---|-------------------------------|------------------|
|   |  | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Lechuga en invernadero<br>(180.000 plantas ha <sup>-1</sup> ) | 45   | 100   | 50                            | 250              |

La plantación en invernadero se suele hacer en bancales (2-3 líneas de plantas) a una altura de 25 cm para que las plantas no estén en contacto con la humedad y evitar posibles enfermedades. La plantación debe hacerse de forma que la parte superior del cepellón quede a nivel del suelo, no hundido, para evitar que se produzcan podredumbres al nivel del cuello, ni alto, porque se desecarían las raíces. El marco de plantación en producciones de otoño-invierno suele ser de 0,30 x 0,20-0,22 m, lo que supone unas 15-17 plantas de lechugas m<sup>-2</sup> de invernadero. Este marco, en otras épocas de mayor iluminación, puede cambiarse a 0,25 x 0,20 m, es decir, unas 20 plantas m<sup>-2</sup> (Maroto, 1982).

La densidad de plantación oscila bastante según el tipo de lechuga, por ejemplo en Romanas suele ser de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>, en Iceberg 80.000 plantas ha<sup>-1</sup> y en Baby 130.000 plantas ha<sup>-1</sup> (Nuez et al., 2001).

Deben darse riegos frecuentes y con poca cantidad de agua (riego por goteo), procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial, para evitar podredumbres del cuello y de la vegetación que tome contacto con el suelo.

En cultivos de invierno-primavera para evitar el espigado, es frecuente el uso de manta térmica, con el fin de que la planta se desarrolle más rápidamente, no se endurezca y no acumule horas de frío que la hagan florecer.

Las extracciones de nutrientes varían considerablemente según las condiciones de cultivo y el material vegetal utilizado. Entre las condiciones de cultivo que afectan de una forma directa a la asimilación de nutrientes por parte de la lechuga, destaca la fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo.

- *Fertilización nitrogenada*: el nitrógeno es un nutriente que promueve un buen desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga (Maynard, 1976). Este nutriente aumenta el nivel de crecimiento en las hojas, el índice de área foliar y consecuentemente los niveles de fotosíntesis, resultando un mayor acúmulo de materia seca (Marschner, 1986; Rincón et al., 2002). Sin embargo, no se obtiene respuesta cuando la concentración de nitrógeno en la solución del suelo es superior a la absorción de la planta afectando el exceso negativamente a la calidad final de la cosecha (deformaciones y lechugas no comerciales) (Economakis et al. 1997; Martinetti, 1996; Rincón et al., 2002).

Con aportes de 80 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno inorgánico, se obtienen producciones más altas en lechuga (Branco y Couto, 1962; Gardner y Pew, 1972; Hemphill y Jackson, 1982; Rincón et al., 2002). Según Rodríguez y Lobo, (1972), Añez y Tavia, (1984), Rubeiz et al., (1992) Merino y Ansorena, (1994), y Rubeiz et al., (1998), cuando se emplea estiércol de pollo o “gallinaza” es necesario añadir entre 100 y 800 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno orgánico para conseguir altas producciones en cultivos hortícolas como este.

La lechuga es un cultivo con una alta eficiencia de utilización del N (Alexander, 1965). El 80 % del N total que requiere la planta de lechuga, es extraído en las últimas tres-cuatro semanas del ciclo (Zink y Yamaguchi, 1962; Gardner y Pew, 1972; Bernard et al., 1990; Katayama, 1993); lo que explica el interés de usar fertilizantes de liberación lenta (Pereira et al., 1989; Rubeiz et al., 1992).

En diferentes investigaciones se ha podido comprobar que el estiércol de pollo es un abono interesante como fuente de nitrógeno para esta hortaliza (Añez y Tavia, 1984; Rubeiz et al., 1992; Flynn et al., 1995; Rubeiz et al., 1998; Hamdar y Rubeiz, 2000). El alto porcentaje de materia orgánica de este estiércol mejora las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, y su contenido en nitrógeno de liberación gradual lo convierte en una opción interesante como fuente de este elemento para el cultivo de lechuga (Vigidal et al., 1995).

- *Salinidad del suelo*: el contenido salino de los suelos está relacionado directamente con el mayor o menor aporte de fertilizantes. Así, aplicar dosis excesivas de “gallinaza”, produce un aumento creciente de la salinidad del suelo, que reduce el rendimiento de las cosechas (Merino y Ansorena, 1990).

En condiciones naturales, los suelos de Galicia presentan bajos niveles de salinidad (C.E. < 0,5 dS m<sup>-1</sup>) (Calvo et al., 1987; Álvarez, 1990). Sin embargo, en los invernaderos, espacios cerrados, sin lavado natural por el agua de lluvia, con aportes sucesivos de fertilizantes, con riegos limitados al mínimo necesario para satisfacer las necesidades de las plantas, y procesos de transpiración y evaporación más acentuados, se crean fácilmente condiciones salinas en el suelo (Moulinier y Mazoyer, 1966).

En cultivos al aire libre la acumulación de nitratos en el suelo es pequeña, ya que son absorbidos por la planta o lixiviados fácilmente por la lluvia (Balasubramanian et al, 2004). En invernadero, la precipitación no existe y el empleo de abonos orgánicos y nitrogenados ayuda a la acumulación a pesar de su gran movilidad. Esta concentración junto con la alta solubilidad de los nitratos hace que participen de manera importante en el incremento del contenido salino de estos suelos. Esto conlleva un mayor esfuerzo por parte de las plantas para absorber el agua a través de sus raíces, lo que hace que parte de la energía de origen metabólico de que dispone la planta se dirija a la absorción de agua en detrimento de otras funciones que también requieren energía, como crecimiento, floración, etc, y llega a provocar la llamada sequía fisiológica (Schimper, 1903).

En cuanto al material vegetal a utilizar, son numerosos las variedades estudiadas de lechuga (romana, icedberg, batavias, hoja de roble, maravilla de verano, mantecosa, etc), siendo éste un factor a tener en cuenta cuando se quieren obtener altas producciones (40-95 t ha<sup>-1</sup>), pues las necesidades nutricionales varían considerablemente de unas variedades a otras (82-270 kg de N ha<sup>-1</sup>) (Hochmuth et al., 1994; McPharlin et al., 1995; Thompson y Doerge, 1996; Cantliffe et al., 1998; Sánchez, 2000).

### 3.3. Acumulación de nitrato en lechuga

Algunas especies de plantas hortícolas de aprovechamiento foliar, entre las que se encuentra la lechuga, tienden a acumular nitrato en las hojas cuando la absorción excede a la reducción dentro de la planta (Hewitt, 1975; Al-Redhaiman, 2000; Mensinga et al, 2003; Burns et al., 2004; Lundberg et al, 2008).

La cantidad de nitrato que puede llegar a acumularse en las hojas de esta hortícola abarca un amplio rango de valores, de 71 a 6422 mg kg<sup>-1</sup> de materia fresca, según los datos aportados por algunos estudios de investigación (tabla 18).

Tabla 18

Rango de valores del contenido en nitrato (mg kg<sup>-1</sup> de materia fresca) en lechugas cultivadas en invernadero, encontrados en diferentes estudios

| Parámetro | Rango de valores<br>(mg kg <sup>-1</sup> de materia fresca) |                  | País        | Fuente bibliográfica                 |
|-----------|---|------------------|-------------|--------------------------------------|
|           | Otoño-invierno  | Primavera-verano |             |                                      |
| Nitratos  | 3500-3000   | 2500-1000        | Holanda     | Van Eysinga y<br>Van der Meijs, 1985 |
|           | 3160-1100   | 3250-2540        | España      | Anselma et al., 1993                 |
|           | 3838-1344   | -                | Chile       | Carrasco et al., 2006                |
|           | 664-25  | 623-71           | Grecia      | Pavlou et al., 2007                  |
|           | 2048-713  | -                | Chile       | Lastra et al., 2009                  |
|           | 6422-2289   | 5488-2896        | Reino Unido | Burns et al., 2011                   |

La función específica del nitrato en los vegetales es la de suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, una vez reducido por acción de la enzima nitrato reductasa.

A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitritos y amonio) el nitrato se acumula en las vacuolas de los tejidos vegetales, donde tiene una función no específica supliendo a ácidos orgánicos y azúcares, actuando como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja (Blom-Zandstra y Lampe, 1983; Behr y Wiebe, 1992; Tei et al., 2002; Pavlou et al., 2007).

Teniendo en cuenta que una gran parte del nitrato ingerido por el hombre (hasta un 75 %) proviene de los vegetales, la Comunidad Europea ha elaborado un

reglamento (tabla 19), en el que se fija el contenido máximo en nitrato para lechugas cultivadas al aire libre y en invernadero (Reglamento (UE) N° 1258/2011 de la comisión de 2 de diciembre de 2011).

Tabla 19

Niveles máximos admisibles de nitrato en lechuga según el Reglamento (UE) N° 1258/2011

| Tipo de lechuga                            | Nivel máximo admisible de nitrato (mg kg <sup>-1</sup> )<br>según época de cosecha  |
|--|---|
| Lechuga fresca ( <i>Lactuca sativa</i> L.) | Cosechadas del 1 de octubre al 31 de marzo:<br>- Lechugas cultivadas en invernadero: 5000 mg kg <sup>-1</sup> .<br>- Lechugas cultivadas al aire libre: 4000 mg kg <sup>-1</sup> .    |
|  | Cosechadas del 1 de abril al 30 de septiembre:<br>- Lechugas cultivadas en invernadero: 4000 mg kg <sup>-1</sup> .<br>- Lechugas cultivadas al aire libre: 3000 mg kg <sup>-1</sup> . |
| Lechugas tipo Iceberg                      | - Lechugas cultivadas en invernadero: 2500 mg kg <sup>-1</sup> .<br>- Lechugas cultivadas al aire libre: 2000 mg kg <sup>-1</sup> .   |

El ión nitrato no es tóxico, pero aproximadamente el 5 % del nitrato total ingerido se transforma en nitrito, que sí es tóxicos, ya que reduce el Fe de la hemoglobina de la sangre a estado férrico produciéndose metahemoglobina, que no es capaz de transportar el oxígeno a los tejidos (Spiegelhalder et al., 1976; Pannala et al., 2003; Santamarina, 2006; Cameán et al., 2011).

Además del problema de la metahemoglobinemia o cianosis, el nitrato puede reaccionar en el estómago con aminos de origen exógeno, produciéndose nitrosaminas, compuestos potencialmente cancerígenos (Magge y Barnes, 1956; Hotchkiss y Cassens, 1987; Mirvish, 1997).

Por su influencia sobre la salud humana, es importante conocer cuáles son los factores que influyen en la asimilación y acumulación de nitrato en la planta:

- *Factores genéticos*: dentro de las variedades de lechuga comerciales, cada una tiene una capacidad de reducción del nitrato en los tejidos, por lo que la acumulación de NO<sup>3-</sup> oscilará de unas variedades a otras (Blom-Zandstra y Eenink, 1986; Reinink y Eenink, 1988; Byrne et al., 2002; Burns et al., 2011), siendo en las tipo “acogollada”, en donde más acumulación de nitrato se produce, seguidas de las de hoja suelta y las “romanas” (Blom-Zandstra y Eenink, 1986; Reinink y Eenink, 1988; Reinink, 1991).

En una misma planta de lechuga, la distribución de nitrato no es uniforme, sino que se concentra una mayor cantidad en las hojas externas y se reduce considerablemente la presencia de este ión en las hojas internas de la planta

(Causeret, 1984; Siomos et al., 2000; Byrne et al., 2002; Escobar-Guitierrez et al., 2002). Las hojas externas de la lechuga pueden llegar a concentrar dos o tres veces más nitrato que las hojas internas (Byrne et al., 2002; Rincón et al., 2002; Abu-Rayyan et al., 2004), debido a la alta actividad de la encima nitrato reductasa en las hojas en crecimiento (internas), que hacen que el nitrato no se acumule en las vacuolas (Miller y Smith, 1996; Chen et al., 2004; Cookson et al., 2005).

- *Factores ambientales*: de todos los factores climáticos, la radiación luminosa es la más importante y la más ampliamente documentada (Causeret, 1984; Byrne et al., 2002; Cameán et al., 2011; Konstantopoulou et al., 2012).

La *luminosidad* es el factor decisivo en la acumulación de nitratos en determinadas épocas del año. En ciclos de cultivo con baja radiación global (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja (la capacidad fotosintética se reduce), dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en planta (Blom-Zandstra y Lampe, 1983; Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985; Escobar-Guitierrez et al., 2002; Burns et al., 2011). Por contra, en ciclos de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera), la actividad de la nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración de nitrato en hojas (Myczkowsk et al., 1986; Rozek y Wojciechowska, 1990; Burns et al., 2011) e incrementando la concentración de ácidos orgánicos (Blom-Zandstra y Lampe, 1983; Roorda Van Eysinga, 1985; Blom-Zandstra y Lampe, 1985; Pavlou et al., 2007). Es decir, al reducirse la intensidad luminosa o la duración del fotoperíodo, disminuye la fotosíntesis y con ella se incrementa el contenido de nitrato en planta.

La *temperatura*, al igual que la radiación global, juega un papel importante en la acumulación de  $\text{NO}^3$  en los tejidos vegetales (Walker, 1975; Blanc y Morisot, 1980; Al-Readhaiman, 2000; Pavlou et al., 2007). El aumento de temperatura (época estival), algo muy común en invernaderos mal ventilados, favorece la acumulación de nitrato en planta al influir en los procesos de osmoregulación celular y favorecer la disponibilidad del nitrógeno del suelo (Merino y Ansorena, 1994). Este factor también incide de una forma directa sobre la absorción de nitrato por la planta, ya que facilita la mineralización del nitrógeno en el suelo y por tanto la acumulación de nitrato en el cultivo (Alt y Struwe, 1982; Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985; Slangen et al., 1988).

Una mala utilización del riego en el cultivo, puede dar lugar a la falta de agua en el suelo y por consiguiente a una concentración mayor de nitrato en la solución del suelo, incrementando el  $\text{NO}^3$  en los tejidos del cultivo (Thompson y Doerge, 1996; Cantliffe et al., 1998; Leenhardt et al., 1998; Burns et al., 2011).

- *Factores ligados a prácticas de manejo*: normalmente, junto con la intensidad luminosa, suele citarse a la fertilización como factor determinante en la acumulación de nitrato. La cantidad de nitrógeno aportada en la fertilización afecta a la concentración de  $\text{NO}^3$  en la solución del suelo, y también a la cantidad de nitrato acumulada en los tejidos de lechuga que se desarrolla en él (Delbert et al., 1982;

Parente et al., 2004; Acikgoz, 2009; Salomez y Hofman, 2009). Algunos autores llegaron a la conclusión de que esta relación es independiente del origen del abono, mineral u orgánico (Van der Boon et al., 1990; Bosch y Napit, 1992; Economakis et al., 1997; Burns et al., 2004).

Entre las medidas posibles para reducir el problema de un alto contenido de nitrato en la lechuga cabe indicar:

- Elección de las variedades más adecuadas.
- Cultivar las lechugas en las épocas de alta intensidad luminosa.
- Controlar las necesidades hídricas del cultivo, evitando las sequías.
- Seguimiento constante de la ventilación en cultivos protegidos, reduciendo al mínimo altas temperaturas y humedad.
- Realizar un programa racional de abonado que proporcione a la planta una nutrición adecuada y equilibrada.

#### *3.4. Fertilización en cultivo de pimiento en invernadero*

El pimiento es una planta cultivada desde muy antiguo por los indios americanos que Colón encontró en su primer viaje y trajo a España en 1493, extendiéndose su cultivo a lo largo del siglo XVI por otros países de Europa, Asia y África.

Algunas variedades de pimiento se utilizan como ornamentales, principalmente por el atractivo que muestran sus pequeños frutos; sin embargo, su principal aprovechamiento está en la alimentación humana, como hortaliza de acompañamiento o como condimento y colorante.

También el pimiento es uno de los cultivos hortícolas con mayor superficie dedicada en España (tabla 20). Está ampliamente difundido por todo el país; siendo las plantaciones de pimiento tipo Lamuyo y dulce italiano, las que forman parte de las rotaciones hortícolas que habitualmente se llevan a cabo en invernadero. La importancia de esta hortícola se centra en que aporta a nuestra dieta importantes cantidades de vitaminas y minerales, destacando especialmente su contenido en vitamina C (Osuna-García et al., 1998; Yahia et al., 2001; Abu-Zahra, 2011).

Las principales áreas de cultivo en España son las comunidades de Andalucía, Galicia, Murcia y Castilla la Mancha. En cuanto a Galicia, su cultivo se centra, sobre todo en las provincias atlánticas. De forma protegida, esta hortícola ha incrementado considerablemente su superficie desde el año 2000 hasta el 2010, un 247 %; mientras que la producción al aire libre, en estos diez años, ha descendido un 2,47 % (tabla 20).

Tabla 20

Distribución de la superficie cultivada de pimiento por provincias, al aire libre o protegida, en Galicia desde 2000 a 2010 (MAGRAMA, 2011)

| Superficie<br>(miles de ha) | A Coruña | Lugo  | Ourense | Pontevedra | Galicia<br>(Aire libre) | Galicia<br>(Cultivo protegido) |
|-----------------------------|----------|-------|---------|------------|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Años</b>                 |          |       |         |            |                         |                                |
| 2000                        | 0,322    | 0,125 | 0,170   | 0,241      | 0,647                   | 0,211                          |
| 2001                        | 0,322    | 0,125 | 0,170   | 0,241      | 0,647                   | 0,211                          |
| 2002                        | 0,322    | 0,125 | 0,170   | 0,241      | 0,647                   | 0,211                          |
| 2003                        | 0,427    | 0,149 | 0,182   | 0,315      | 0,643                   | 0,422                          |
| 2004                        | 0,468    | 0,188 | 0,226   | 0,443      | 0,613                   | 0,692                          |
| 2005                        | 0,480    | 0,199 | 0,279   | 0,493      | 0,659                   | 0,743                          |
| 2006                        | 0,480    | 0,199 | 0,279   | 0,493      | 0,659                   | 0,743                          |
| 2007                        | 0,411    | 0,156 | 0,208   | 0,362      | 0,517                   | 0,583                          |
| 2008                        | 0,396    | 0,135 | 0,183   | 0,351      | 0,482                   | 0,546                          |
| 2009                        | 0,420    | 0,177 | 0,224   | 0,369      | 0,521                   | 0,591                          |
| 2010                        | 0,482    | 0,187 | 0,268   | 0,464      | 0,631                   | 0,733                          |

En Galicia se cultivan distintas variedades de pimiento adaptadas a diferentes zonas, respondiendo a ecotipos “país” como Padrón, morrón de Vilanova, tipo Ourense, Arnoia, Couto, Poumxin, Mougán y Piñera (Cordeiro et al., 2008).

Para los cultivos intensivos, en especial los de invernadero, se utilizan híbridos tipo F1 por su mayor precocidad, producción, homogeneidad y resistencia a las enfermedades. Dentro de este grupo se prefieren los pimientos gruesos de sección rectangular de maduración en rojo o en amarillo que se denominan “tipo Lamuyo”. En los últimos años también han aparecido con fuerza los pimientos gruesos de forma cúbica, también de maduración en rojo o en amarillo, denominados “tipo California”. Otro grupo de cultivares para cultivo intensivo y mercado en fresco, son los denominados “para freír”, pimientos alargados y estrechos (tipo italiano o cuerno de toro) (Viñals et al., 1996; Nuez et al., 2001).

En las posibles rotaciones en invernadero, el pimiento deberá cultivarse después de judías verdes, guisantes verdes, coliflores, lechugas, etc (Maroto, 1982). Por norma general bajo plástico, la lechuga se planta antes y después del pimiento, debido a que su ciclo de desarrollo es muy corto, lo que permite, en el tiempo restante, hacer uso de dos hortalizas con ciclos más largos, como el pimiento.

En cultivo protegido se emplean plantas con cepellón. La densidad de plantación suele ser de 20.000 a 25.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las plantas se entutoran con hilos laterales, no realizándose normalmente ningún tipo de poda. El riego y fertilización se hace a través de técnicas de fertirrigación (Viñals et al., 1996; Nuez et al., 2001).

La fertilización de tipo medio para el pimiento suele constar de 30-40 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 90-150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 200-300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. En cobertera, pueden añadirse 150-200 kg ha<sup>-1</sup> de N complementarias, distribuidas en cuatro o cinco aplicaciones: la primera, con el primer riego después de la plantación; la segunda, cuando se produce el cuajado de los primeros frutos, y el resto, de forma

periódica y combinada con los riegos a lo largo de la recolección (normalmente cada dos riegos) (Maroto, 1982).

El trasplante se hace en líneas pareadas, distantes entre sí 0,6 m, dejando un pasillo de 0,9-1,0 m entre cada par de líneas.

Si se constata una presencia excesiva de frutos cuajados o cuando la planta se desarrolla con poco vigor vegetativo, resulta conveniente la eliminación de flores y frutos recién cuajados, cuando se forman en la altura de la primera bifurcación.

Tras los primeros riegos, después del trasplante, es conveniente detener el riego hasta que se haya formado la segunda bifurcación. Durante la primera floración, un exceso de humedad en el suelo puede provocar la caída de las flores (Maroto, 1982).

Se trata de un cultivo de ciclo largo (6-8 meses), de porte variable (0,5-2 m), con un sistema radicular pivotante y profundo, que precisa de suelos franco-arenosos, profundos, ricos en materia orgánica y en nutrientes disponibles. Su fruto es una baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, amarillo, rojo, violeta o blanco), cuyo peso puede variar desde unos pocos gramos a más de medio kilogramo (Viñals et al., 1996; Rincón, 2003).

Entre el trasplante y el inicio de la recolección suelen pasar entre 70 y 90 días. La recolección se realiza manualmente y entre dos recolecciones suelen mediar 7-12 días. El fruto debe recolectarse cuando haya adquirido la madurez fisiológica, sea en verde o sea en rojo o en amarillo. Cuando el pimiento está maduro, la carne de la baya está tersa y consistente y posee un color verde provisto de una tonalidad metálica. Algunos mercados prefieren que el pimiento esté coloreado, por lo cual se debe demorar en algunos días la recolección.

En variedades de frutos grandes y gruesos, una planta puede producir seis o siete frutos y en variedades de frutos largos y poco pesados, hasta 40 ó 50. Los rendimientos en invernadero están comprendidos entre 80 y 100 t ha<sup>-1</sup> (Maroto, 1982).

La cantidad de nutrientes que absorbe esta planta depende principalmente de la cantidad de frutos cosechados, variando según las condiciones de cultivo y el material vegetal utilizado.

Entre las condiciones de cultivo más influyentes cabe destacar la fertilización nitrogenada, la salinidad del suelo y la temperatura ambiente.

• *Fertilización nitrogenada*: los aportes de nitrógeno inorgánico que se han utilizado en los estudios de investigación a lo largo de los últimos treinta años en cultivo de pimiento han variado sustancialmente (tabla 21).

Tabla 21

Dosis de N (en Kg por hectárea) utilizados en la fertilización del pimiento en diferentes estudios científicos

| Nitrógeno aportado<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | País           | Fuente bibliográfica   |
|--|----------------|------------------------|
| 70   | Canadá         | O`Sullivan, 1979       |
| 100  | España         | CA et al., 1992        |
| 140  | Australia      | Olsen et al., 1993     |
| 200  | Estados Unidos | Hochmuth, 1996         |
| 57   | España         | Estrada et al., 2000   |
| 90   | Estados Unidos | Adeli et al., 2010     |
| 50   | Irán           | Aminifard et al., 2012 |

Cuenca et al. (2002) y Flores et al. (2004), observaron que la respuesta de esta hortícola a la fertilización nitrogenada se produce cuando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, en forma de nitrato, aumenta; afectando a la calidad nutritiva y comercial del fruto del pimiento (mayor capacidad antioxidante, aumento de caroteno,  $\beta$ -caroteno, fracciones lipofílicas).

Si el nitrógeno aportado al cultivo está en forma orgánica o inorgánica, es de relevante importancia (Gaskell, 1999; Aliyu, 2000; Delate et al., 2004). Según Gaskell (1999), un aumento en la producción total de pimiento está correlacionado de forma directa con dosis crecientes de nitrógeno, que también influye sobre la composición y tamaño de los frutos (Olsen et al., 1993; Gaskell, 1999; Aliyu, 2000), aunque a dosis elevadas, 500 Kg de N ha<sup>-1</sup>, puede haber un exceso de nitrógeno en el suelo que reduzca el número de frutos y su desarrollo (Aliyu et al., 1996; Gaskell, 1999; Aminifard et al., 2012).

Cuando se utilizan abonos orgánicos, como abonos verdes combinados con fertilizantes orgánicos (“gallinaza”, estiércol de pollo, harina de plumas de aves, etc), se consiguen los mejores resultados en producción esperada en el cultivo de pimiento, pues el cultivo dispone de una fuente orgánica de fácil disponibilidad (“gallinaza”, etc), con otro aporte de más lenta liberación (abonos verdes, etc), que van dando al pimiento los requerimientos que precisa a lo largo de los 6-8 meses que dura el cultivo (Gaskell, 1999).

- *Salinidad del suelo*: en el caso del pimiento, un aumento paulatino de la salinidad del suelo reduce la cosecha esperada en la plantación (Fernández et al., 1981; Garrido, 2001). Así, aplicar dosis excesivas de “gallinaza”, en relación a las necesidades de nitrógeno por parte de los cultivos, conduce a una creciente salinidad del suelo, que reduce el rendimiento de las cosechas (Merino y Ansorena, 1990).

- *Temperatura ambiente*: este es un factor determinante en la producción del cultivo de pimiento, desarrollándose en un rango de temperaturas muy determinado (15-35 °C), para que sus flores puedan fructificar y lleguen a desarrollarse unos buenos frutos; sobre todo durante el periodo de formación del botón floral y hasta la obtención del fruto maduro. Temperaturas por debajo de los 10-15 °C o superiores a los 35 °C conllevan a que se produzcan anomalías en la formación de las flores, así

como la malformación de frutos, reduciéndose su tamaño e incluso llegando a caerse frutos y flores de la planta (Rico, 1983; Estrada et al., 2000; Marín et al., 2004).

En cuanto al material vegetal a utilizar, son numerosos las variedades estudiadas de pimiento, siendo éste un factor a tener en cuenta cuando se quieren obtener altas producciones ( $20-110 \text{ t ha}^{-1}$ ), pues las necesidades nutricionales varían considerablemente de unas variedades a otras ( $120-400 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) (Rincón, 1995; Hochmuth et al., 1996).

El pimiento exige las mayores cantidades de nitrógeno y potasio durante la formación de las primeras flores y en el cuajado de los primeros frutos, a los 2 y 3 meses de transcurrida la plantación (Hochmuth, 1996; Hanlon y Hochmuth, 2000); por lo que se puede explicar el interés del uso de un abono orgánico que libera gradualmente los nutrientes, como el estiércol de pollo.

### *3.5. Calidad del fruto del pimiento*

Dentro del elevado valor alimenticio del pimiento, tiene especial importancia su contenido en vitaminas, que son indispensables en la regulación del proceso de la nutrición y en la resistencia inmunitaria humana.

De entre ellas destaca la vitamina C, necesaria para la prevención del escorbuto, para el mantenimiento de la piel de forma saludable, de las encías y los vasos sanguíneos. También interviene en la formación del colágeno, la absorción del Fe inorgánico, la inhibición de nitrosaminas, la formación y mejora del sistema inmunológico y ayuda a reducir el nivel de colesterol en el plasma sanguíneo (Lee y Kader, 2000; Flores et al., 2004).

Además, su actividad antioxidante está relacionada con la prevención de enfermedades degenerativas, diferentes cánceres, enfermedades neurológicas y cardiovasculares, cataratas y disfunciones oxidativas (Stahelin et al., 1989; Riemersma, 1994; Hasler, 1998; Sardas, 2003).

Por su parte, el fruto del pimiento tiene la mayor concentración de vitamina C de todos los vegetales y frutos que se han estudiado hasta el momento (Lee y Kader, 2000). El contenido medio de vitamina C (ácido ascórbico), en este fruto oscila de  $15,06$  a  $240 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  (tabla 22).

Tabla 22

Valores o rango de valores del contenido en ácido ascórbico (mg por 100 g<sup>-1</sup> de materia fresca), en pimientos rojos, encontrados en diferentes estudios de investigación

| Parámetro  | Valor o rango de valores<br>(mg por 100 g <sup>-1</sup> de materia fresca) |                     | Fuente bibliográfica           |
|------------|--|---------------------|--------------------------------|
|            | Fruto verde  | Fruto maduro (rojo) |                                |
| Vitamina C | 129,0  | 151,0               | Vanderslice et al., 1990       |
|            | 71,0   | -                   | Nísperos-Carriedo et al., 1992 |
|            | -  | 76,1-243,1          | Howard et al., 1994            |
|            | 90-230   | 160-240             | Osuna-Garcia et al., 1998      |
|            | 15,06-171,7  | 74,5-202,4          | Howard et al., 2000            |
|            | -  | 51-136,1            | Yahia et al., 2001             |
|            | -  | 52,8                | Suntornsuk et al., 2002        |
|            | 54,3   | 93,0                | Marín et al., 2004             |
|            | -  | 137,2-168,7         | Abu-Zahra, 2011                |

Este amplio rango de valores en el que varía el contenido de vitamina C presente en el pimiento se puede atribuir a varios factores:

- *Diferencias genotípicas*: se trata del factor más importante a tener en cuenta, pues la mayor o menor concentración de ácido ascórbico en el pimiento depende de la variedad seleccionada; encontrándose mayor cantidad de vitamina C en las variedades de color rojo o amarillo que en las de color verde (Howard et al., 1994; Lee et al., 2005; Pérez-López et al., 2007; Jadczyk et al., 2010).

- *Condiciones climatológicas y momento de madurez*: la intensidad luminosa aumenta la concentración de ácido ascórbico y glucosa en frutas y hortalizas, así cuánto más alta es la intensidad de luz, mayor es el contenido de vitamina C en los tejidos de las plantas (Mozafar, 1994; Wang, 2006; Bafeel y Ibrahim, 2008).

La exposición del pimiento a los rayos del sol durante su maduración es esencial para que aumente o no la concentración de ácido ascórbico en sus tejidos (Nagy, 1980), debido principalmente a que los tejidos superficiales de los vegetales tienden a concentrar mayor cantidad de vitamina C, pues les protege de la tensión extrema causada por la luz y la oxidación (Lee y Kader, 2000; Smirnoff y Wheeler, 2000).

Desde que aparecen los frutos en la planta, hasta que están totalmente maduros, estos pasan por diferentes fases de coloración, y consecuentemente la cantidad de vitamina C en los pimientos varía, pero siempre en el mismo sentido, aumentando su concentración, hasta el estado de rojo succulento (Vanderslice et al., 1990; Roura et al., 2001; Marín et al., 2004).

- *Prácticas culturales*: el contenido en vitamina C se puede ver afectado por varios factores de tipo agronómico, tales como que se cultive al aire libre o en invernadero, el marco de plantación empleado, el sistema de riego utilizado, etc (Viñals et al., 1996; Pérez-López et al., 2007).

Según diferentes estudios realizados sobre cultivos hortícolas, el uso de fertilizantes nitrogenados puede conllevar una disminución del contenido de ácido ascórbico en planta y fruto, debido a que la planta tiene una amplia disponibilidad de nitrógeno, lo que hace que ésta produzca más cantidad de proteína y reduzca su producción de hidratos de carbono, esenciales para que las hortalizas produzcan vitamina C (Margoczi et al., 1991; Lisiewska y Kmiecik, 1996; Worthington, 2001). Por otro lado, una excesiva cantidad de nitrógeno en suelo puede originar un efecto relativo de dilución de la vitamina C en los tejidos, al crecer de forma exagerada la parte vegetativa del cultivo (Mozafar, 1993; Bourn y Prescott, 2002).

Una extensa revisión bibliográfica realizada por Woese et al. (1995), mostró que la mitad de los cultivos hortícolas de hoja estudiados y fertilizados con abonos orgánicos contenían más vitamina C que aquellos que habían recibido una fertilización mineral. Sin embargo hay autores que no han encontrado efecto alguno de la fertilización nitrogenada en la concentración de vitamina C en los frutos de pimiento (Flores et al., 2009; Núñez-Ramírez et al., 2011; Aminifard et al., 2012).

No solo el nitrógeno puede repercutir de forma directa sobre la mayor o menor presencia de ácido ascórbico en el fruto del pimiento, la cantidad de K existente en el suelo también ayuda a concentrar más o menos vitamina C en esta y otras hortalizas (Sites, 1947; Smith y Rasmussen, 1960; Rubio et al., 2010).

• *Procedimientos de recogida, almacenamiento y conservación*: el procesado y posterior almacenamiento del pimiento influyen de forma importante sobre la presencia de vitamina C en el fruto del pimiento. Así, el control de la temperatura y la intensidad luminosa, son factores básicos en el periodo postcosecha, pues la pérdida de ácido ascórbico se acelera con altas temperaturas, alta luminosidad y un proceso de recogida, transporte y almacenamiento que se prolongue en el tiempo (Daood, et al., 1996; Markus et al., 1999; González et al., 2005).

Las medidas más relevantes que se deben adoptar para conseguir la máxima cantidad posible de vitamina C en el fruto fresco de pimiento son:

- Elección de las variedades más adecuadas, principalmente frutos de color rojo.
- Cultivar el pimiento en las épocas de alta intensidad luminosa, exponiendo los frutos al sol.
- Realizar un programa racional de abonado que proporcione a la planta una nutrición adecuada y equilibrada, centrándose en los aportes de N y K.
- Controlar la temperatura y luminosidad durante la cosecha y postcosecha.

## Referencias bibliográficas

- Abu-Rayyan, A.; Kharawish, B.H.; Al-Ismael, K. 2004. Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. *J. Sci. Food Agric.* 84(9): 931-936.
- Abu-Zahra, T.R. 2011. Influence of agricultural practices on fruit quality of bell pepper. *Pakist. J. Biol. Sci.* 14(18): 876-881.
- Acikgoz, F.E. 2009. Effect of Chemical and Organic Fertilizer Applications on Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) Nitrate Accumulation. *Asian J. Chemistry.* 21(7): 5427-5430.
- Adeli, A.; Rowe, D.E.; Read, J.J. 2006. Effects of soil type on bermudagrass response to broiler litter application. *Agron. J.* 98(1): 148-155.
- Adeli, A.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Tewolde, H. 2007. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 974-983.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E. 2009. Broiler Litter Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Properties. *Agron. J.* 101(6): 1304-1310.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Sistani, K.; Rowe, D. 2010. Comparison of Broiler Litter and Commercial Fertilizer at Equivalent N Rates on Soil Properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41(20): 2432-2447.
- Aglebor, F.A.; Beis, S.; Kim, S.S.; Tarrant, R.; Mante, N.O. 2010. Biocrude oils from the fast pyrolysis of poultry litter and hardwood. *Waste Manage.* 30: 298-307.
- Akanni, D.I.; Ojeniyi, S.O. 2007. Effect of different levels of poultry manure on soil physical properties, nutrients status, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Research J. Agronomy.* 1(1): 1-4.
- Akers, J.B.; Harrison, B.T.; Mather, J.M. 1975. Drying of poultry manure - an economic and feasibility study. In: *Proc. of the Third International Symp. on Livestock Wastes, Michigan, U.S.A.* pp: 473-477.
- Alabi, D.A. 2006. Effects of fertilizer phosphorus and poultry droppings treatments on growth and nutrient components of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 5(8): 671-677.
- Alexander, M. 1965. Nitrification. In: *Soil nitrogen.* Am. Society Agron. pp: 307-343.
- Aliyu, L.; Yusuf, Y.; Ahmed, M.K. 1996. Response of pepper to fertilizer: growth, yield and yield components as affected by nitrogen and phosphorous levels. In *Proceeding of the 14th Hortson Conference, Ago-Iwoye, (A. Adebajo, ed.).* 1-4: 45-50.

- Aliyu, L. 2000. Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annum* L.). Biol. Agric. and Hort. 18(1): 29-36.
- Al-Redhaiman, K.N. 2000. Nitrate Accumulation in Plants and Hazards to Man and Livestock Health: A Review. Agric. Sci. 12(2): 143-155.
- Alt, D.; Struwe, S. 1982. Declive of the nitrate content in lettuce *Lactuca sativa*, var. Capitata L. by means of monitoring the nitrogen content of the nutrient solution in hidroponic system. Plant Nutrition. Proceedings of the 9 th. Interneterial Plant Nutrition Colloquium Warwick. 1: 17-21.
- Álvarez, R.E. 1990. Estudio de las diferentes formas de Al presentes en solución de suelos de Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Amanullah, M.M.; Somasundaram, E.; Vaiyapuri, K.; Sathyamoorthi, K. 2007. Poultry manure to crops: A Review. Agricultural reviews-Agricultural Research Communications Center India. 28(3): 216-222.
- Amanullah, M.M.; Sekar, S.; Muthukrishnan, P. 2010. Prospects and Potential of Poultry Manure. Asian J. Plant Sci. 9: 172-182.
- Aminifard, M.H.; Aroiee, H.; Nemati, H.; Azizi, M.; Khayyat, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizer on vegetation and reproductive growth of pepper plants under field conditions. J. Plant Nutr. 35(2): 235-242.
- Anselma, J.M.; Merino, D.M.; Mayor, X.L.; Mutuberría, J.R.D.; Muro, J.E. 1993. Influencia del abonado nitrogenado en el contenido de nitratos en lechugas de invierno. Hortic. Global. 86: 50-54.
- Añez, B.; Távira, E.M. 1984. Aplicación de N y de estiércol en la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Turrialba. 34(4): 527-530.
- Aoyama, M.; Angers, D.A.; N'Dayegamiye, A.; Bissonnette, N. 2000. Metabolism of C-13-labeled glucose in aggregates from soils with manure application. Soil Biol. Biochem. 32: 295-300.
- Asiegbu, J.E.; Oikeh, S. 1995. Evaluation of the chemical composition of manures from different organic wastes and their potential for supply of nutrients to tomato in a tropical ultisol. Biol. Agric. and Hort. 12(1): 47-60.
- Aubert, C. 1993. Una experiencia británica a escala industrial: aprovechamiento del estiércol de las aves para producir electricidad. L'Aviculteur. 545(6): 57-59.
- Aviporto. 2013. Página oficial de la empresa Aviporto S.L. Portomarín, Lugo, Galicia. Disponible en: <http://www.aviporto.com>. Último acceso: 30/04/2013.
- Azeez, J.O. ; Van Averbeke, W. 2012. Dynamics of Soil pH and Electrical Conductivity with the Application of Three Animal Manures. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 43(6): 865-874.

- B.O.E., 2002. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, (IPPC). Boletín Oficial del Estado 157, 2310-23927.
- B.O.E., 2005. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado 171, 259-279.
- B.O.E., 2011. Nº72 del 25 de marzo. Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, por la que se modifican los Anexos I, II, III, IV, V y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.
- B.O.E., 2011. Real Decreto 22/2011, de 28 de julio, sobre Ley de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado 181, 85650-85705.
- Baca, M.T.G. 1988. Fertilizantes orgánicos: estudio y preparación de compost para su utilización en agricultura. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada.
- Bafeel, S.O.; Ibrahim, M.M. 2008. Antioxidants and accumulation of  $\alpha$ -tocopherol induce chilling tolerance in *Medicago sativa*. Int. J. Agric. Biol. 10: 593-598.
- Balasubramanian V.; Alves, B.; Aulakh, M.; Bekunda, M.; Cai, Z.; Drinkwater, L.; Mugendi, D.; Van kessel, C.; Onema, O. 2004. Crop, environmental and management factors affecting nitrogen use efficiency. En: Agriculture and the Nitrogen Cycle (Mosier et al., Eds). Island Press: 19-33.
- Baranyai, V. 2011. Evaluation of base liners to reduce nitrogen and salt leaching from poultry litter storage stockpiles to the underlying soil-a field column study. Tesis doctoral. Digital Repository at the University of Maryland University of Maryland (College Park, Md.). pp: 99.
- Barker, J.C. 1980. Performance of aerated lagoon - land treatment systems for swine manure and chick hatchery wastes. In: Proc. of the Fourth International Symp. On Livestock Wastes, Michigan, U.S.A. pp: 217-220.
- Bebgtsson, G.; Kristiansson, S.; Ferman, O. 1954. Gödsling och kalkning Kristianstand, Helsinki.
- Bednar, A.J; Garbarino, J.R.; Ferrer, I.; Rutherford, D.W.; Wershaw, R.L.; Ranville, J.F. 2003. Photodegradation of roxarsone in poultry litter leachates. Sci. Total Environ. 302: 237-245.
- Beegle, D.; Bosworth, J. 1997. Nutrient management. Agron. Facts. 16. pp: 5.
- Behr, U.; Wiebe J. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. Sci. Hortic. 49: 175-179
- Beloso, M.C.S. 1991. Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola. Tesis Doctoral Universidad Santiago de Compostela. pp: 313.

- Bernard, A.L.; Egon, J.M.; Ibanor, A. 1990. Rendimento e absorcao de nutrientes por alface em funcao de calagem e adubacao mineral e orgânica em solo "areia quartzosa hidromórfica". Hort. Bras. 8(2): 6-9.
- Blanc, D.; Morisot, A. 1980. Les nitrates d'origine agricole: leur accumulation dans la plante, leur effect sur l'environnement. Ann. Nutr. Alim. 34(5-6): 791-806.
- Blom-Zandstra, G.; Lampe, J. 1983. The effects of chloride and sulphate salts on the nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L). J. Plant Nut. 6: 61-628.
- Blom-Zandstra, G.; Lampe, J. 1985. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities. J. Exp. Bot. 36: 1043-1052.
- Blom-Zandstra, G.; Eenink, A. 1986. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. J. Americ. Soc. Hort. Sci. 111: 908-911.
- Bolan, N.; Adriano, D.; Mahimairaja, S. 2004. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 34(3): 291-338.
- Bosch, D.J.; Napit, K.B. 1992. Economics of transporting poultry litter to achieve more effective use as fertilizer. J. Soil Water Cons. 47: 342-346.
- Bourn, D.; Prescott, J. 2002. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 42(1): 1-34.
- Branco, A.A.; Couto, F.A.A. 1962. Observacoes sobre o efeito do azoto, fósforo e potasio na adubacao de alfase. Olericultura, Viçosa. 2: 88-96.
- Brodie, H.L.; Carr, L.E.; Condon P. 2000. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production. Compost Sci. Util. 8(3): 178-189.
- Brown, J.E.; Gilliam, C.H.; Shumack, R.L.; Porch, D.W. 1993. Commercial snap bean response to fertilization with broiler litter. HortScience. 28(1): 29-31.
- Brown, J.E.; Dangler, J.M.; Gilliam, C.H.; Porch, D.W.; Shumack, R.L. 1994. Comparison of broiler litter and inorganic nitrogen, phosphorus, and potassium for double-cropped sweet corn and broccoli. J. Plant Nut. 17(5): 859-867.
- Brown, J.E.; Gilliam, C.H.; Shumack, R.L.; Porch, D.W.; Donald, J.O. 1995. Comparison of broiler litter and commercial fertilizer on production of tomato, *Lycopersicon esculentum*. J. Veg. Crop Prod. 1(1): 53-62.
- Brown, BL; Slaughter, AD; Schreiber, ME. 2005. Controls on roxarsone transport in agricultural watersheds. Appl. Geochem. 20(1): 123-133.

- Burns, I.G.; Lee, A.; Escobar-Gutierrez, A.J. 2004. Nitrate accumulation in protected lettuce. *Acta Hort.* 633: 271-278.
- Burns, I.G.; Zhang, K.; Turner, M.K.; Meacham, M.; Al-Redhiman, K.; Lynn, J.; Broadley, M.R.; Hand, P.; Pink, D. 2011. Screening for genotype and environment effects on nitrate accumulation in 24 species of young lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 91(3): 553-562.
- Burton, C.H.; Turner, C. 2003. *Manure management: treatment strategies for sustainable agriculture*. 2<sup>nd</sup> edition. Silsoe Research Institute. Silsoe, Bedford, Reino Unido.
- Burton, L.D.V. 2009. *Agriscience fundamentals and applications*. Ed. Cengage Learning. EEUU. 5<sup>a</sup> edición. Monografía. pp: 835.
- Byrne, C.; Maher, M.J.; Hennerty, M.J.; Mahon, M.J.; Walshe, P.A. 2002. Reducing the nitrate content of protected lettuce. Department of Crop Science, Horticulture and Forestry, University College, Belfield, Dublin. pp: 20.
- CA, SIA, LAR y SEYCA. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de Abonado (Normas Básicas). Junta de Extremadura y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Monografía. pp: 280.
- Cabaleiro, F.A. 2001. Optimización do proceso de compostaxe de esterco de granxas avícolas para a obtención dun fertilizante orgánico comercial de calidades. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Agrónoma. Escuela Politécnica Superior de Lugo USC. pp: 275.
- Calvo, R; Fernández, M.L.; Veiga, A. 1987. Composición de la solución del suelo en medios naturales de Galicia. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XLVI: 621-641.
- Cameán, A.M.F.; Martínez, M.R.L.; Nerín, C.P.; Pla, A.M.; López, R.R. 2011. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a la evaluación del riesgo de la exposición de lactantes y niños de corta edad a nitratos por consumo de acelgas en España. *Revista del Comité Científico de la AESAN.* 14: 65-88.
- Cantliffe, D.J.; Hochmuth, G.J.; Karchi, I.; Secker, I.; Ben-Yehoshua, S. 1998. Nitrogen fertility requirement for iceberg lettuce grown on sandland with plastic mulch and drip irrigation. *Proc. Fla. State Hort. Sco.* 110: 306-309.
- Carballas, M.T.F. 1996. Caracterización de residuos ganaderos. Monografía: Residuos ganaderos y medio ambiente. Ed. Fundación Semana Verde de Galicia. Silleda, Pontevedra. pp: 15-30.
- Carey, J.B.; Lacey, R.E.; Mukhtar, S. 2004. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 2. Flock and house management factors. *J. Appl. Poultry Res.* 13(3): 509-513.

- Carrasco, G.; Tapia, J.; Urrestarazu, M. 2006. Nitrate content in lettuces grown in hydroponic systems. *Idesia*. 24(1): 25-30.
- Causeret, J. 1984. Nitrates, nitrites, nitrosamines: apports alimentaires et santé. *Ann. Fals. Exp. Chim.* 77(326): 133-151.
- Charles, D. 1992. El secado de las deyecciones en el interior del gallinero: un primer paso hacia la reducción de la contaminación. *World Poult.* 8(6): 10-13.
- Chen, B.M.; Wang, Z.H.; Li, S.X.; Wang, G.X.; Song, H.X.; Wang, X.N. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.* 167: 635-643.
- Codling, E.E.; Chaney, L.R.; Mulchi, L.C. 2008. Effects of broiler litter management practices on phosphorus, copper, zinc, manganese, and arsenic concentrations in Maryland Coastal Plain soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39(7-8): 1193-1205.
- Collins, E. 1996. Poultry Litter Management and Carcass Disposal. Fact Sheet Nº 10. Virginia Cooperative Extension. Disponible en: <http://www.ext.vt.edu/pubs/farmasyst/442-910/442-910.html>. Último acceso: 14/08/2012.
- Consellería do Medio Rural e do Mar, 2011. Anuario de Estatística Agraria e Contas Económicas da Agricultura. Disponible en: [http://www.medioruralemar.xunta.es/institucional/estadisticas/avicultura/sector\\_avicola/](http://www.medioruralemar.xunta.es/institucional/estadisticas/avicultura/sector_avicola/). Último acceso: 15/09/2012.
- Cookson, S.J.; Williams, L.E.; Miller, A.J. 2005. Light-dark changes in cytosolic nitrate pools depend on nitrate reductase activity in Arabidopsis leaf cells. *Plant Physiol.* 138: 1097-1105.
- Cooperband, L.R.; Middleton, J.H. 1996. Changes in chemical, physical and biological properties of passively-aerated cocomposted poultry litter and municipal solid waste compost. *Compost Sci. Util.* 4(4): 24-34.
- Cordeiro, X.B.; Davila, M.C.V.; Núñez, A.R. 2008. A nosa horta: guía para a ordenación dos cultivos da horta familiar. Ed. Xerais. Vigo. pp: 224.
- Cuenca, C.J.; Molina, E.N.; Vicente, F.E.C.; Gómez, M.C.H.; Alcaraz, N.A.; Navarro, J.S. 2002. Fertilización nitrogenada en pimiento bajo invernadero, efectos sobre la producción y precocidad. *Agr.* 843: 596-600.
- Cummis, C.G.; Wood, C.W.; Delaney, D.P. 1993. Co-composted poultry mortalities and poultry litter: composition and potencial value as a fertilizer. *J. Sustain. Agri.* 4(1): 7-19.

- Daood, H.G.; Vinkler, M.; Markus, F.; Hebshi, E.A.; Biacs, P.A. 1996. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. *Food Chem.* 55: 365-372.
- Dauda, S.N.; Ajayi, F.A.; Ndor, E. 2008. Growth and yield of watermelon (*Citrullus lanatus*) as affected by poultry manure application. *J. Agri. Soc. Sci.* 4(3): 121-124.
- Day, D.L. 1980. Processing manure for use as feed ingredients. In: Proc. International Symp. on Biogas, Microalgae and Livestock Wastes, China, pp: 31-42.
- Delate, K. 1999. Evaluation of soil amendments for certified organic pepper production. *Hortscience.* 34(3): 465.
- Delate, K.; Friedrich, H.; Mckern, A.; Lawson, V. 2004. Evaluation of soil amendments and cover crops for certified organic pepper production. *Obtención Organic Ag Info.* Disponible en: <http://www.public.iastate.edu/~taber/Extension/Progress%20Rpt%2003/Evalorg.pdf>. Último acceso: 07/12/2012.
- Delbert, D.; Hemphill, Jr.; Jackson, I. 1982. Effect of soil and nitrogen on yield and element concentration of bush bean, carrot and lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 740-744.
- Demir, K.; Sahin, O.; Kadioglu, Y.K.; Pilbeam, D.J.; Gunes, A. 2010. Essential and non-essential element composition of tomato plants fertilized with poultry manure. *Sci. Hortic.* 127(1): 16-22.
- Díaz-Fierros, F.V. 1996. Problemática ambiental y sanitaria de las explotaciones ganaderas. Residuos ganaderos y medio ambiente. Fundación Semana Verde de Galicia.
- Economakis, C.D.; Koleilat, R.; Chartzonlakis K.S. 1997. Effect of nitrogen concentration on growth, water and nutrient uptake of lettuce plants in solution culture. *Acta Hort.* 449: 223-228.
- Edwards, D.R.; Daniel, T.C. 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal-A review. *Bioresour. Technol.* 41: 9-33.
- Edwards, J.H.; Burt, C.E.; Raper, R.L.; Walker, H.R. 1995. Issues affecting application of non-composted organic waste to agricultural land. En: Karlen D.L.; Wright R.J.; Kemper W.O. (Eds.) *Agricultural Utilization of Urban and Industrial By-products.* ASA Special Publication nº 58, ASA, Madison, Wisconsin. pp: 225-249.
- Ekinci, K.; Keener, H.M.; Elwell, D.L. 2000. Composting short paper fiber with broiler litter and additives. Part I: Effects of inicial pH and carbon/nitrogen ratio on ammonia emission. *Compost Sci. Util.* 8(2): 160-172.

- El Nadi, A.H.; Rabie, R.K.; Abdel-Magid, H.M.; Sabrah, R.E.A.; Abdel-Aal, Sh.I. 1995. Chemical, physico-chemical and microbiological examination of town refuse compost and chicken manure as organic fertilizers. *J. Arid Environ.* 30: 107-113.
- El-Shinawy, M.Z.; Abd-Elmoniem, E.M.; Abou-Hadid, A.F. 1997. The use of organic manure for lettuce plants grown under NFT conditions. *International Symposium Greenhouse Management for Better Yield & Quality in Mild Winter Climates. Acta Hort.* 491: 315-318.
- Elson, H.A.; King, A.W.M. 1975. In house manure drying - the slat system. In: *Proc. of the Third International Symp. on Livestock Wastes, Michigan, U.S.A.* pp. 83-84 y 92.
- Escalona, A.; Pire, R. 2008. Crecimiento y extracción de NPK por plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara. *Rev. Fac. Agron.* 25(2): 243-260.
- Escobar-Gutierrez, A.J.; Burns, I.G.; Lee, A.; Edmondson, R.N. 2002. Screening lettuce cultivars for low nitrate content during summer and winter production. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 77(2): 232-237.
- Estrada, A.B.; Merino, C.F.; Da Veiga, B.P.; De los Ángeles, M. 2000. O pemento de Padrón: transformacións bioquímicas na maduración. Ed. Xunta de Galicia. Monografía.
- FAOSTAT. 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html?locale=es#DOWNLOAD](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD). Último acceso: 14/08/2012.
- Fariduller, M.; Irshad, M.; Yamamoto, S.; Eneji, A.E., Uchiyama, T.; Honna, T. 2009. Recycling of chicken and duck litter ash as a nutrient source for Japanese mustard spinach. *J. Plant Nutr.* 32: 1082-1091.
- Faxas, E.R.; Suárez, R.J.A.; Aníbal, B.P. 2009. Reactores en lecho fluidizado. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Centro de Investigación de Energía Solar (CIES), Centro de Investigación de Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Santiago de Cuba. Tecnología química. Edición Especial, 2009. pp: 8.
- Fernández, F.G.; Caro, M.; Cerda, A. 1981. Influencia of NaCl in the irrigation water on yield and quality of sweet pepper (*Capsicum annuum*). *Plant Soil.* 46: 405-411.
- Flores, P.; Navarro, J.M.; Garrido, C.; Rubio, J.S.; Martínez, V. 2004. Influence of Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fertilisation on nutritional quality of pepper. *J. Sci. Food Agric.* 84: 569-574.
- Flores, P.; Hellin, P; Lacasa, A.; Lopez, A.; Fenoll, J. 2009. Pepper antioxidant composition as affected by organic, low-input and soilless cultivation. *J. Sci. Food Agric.* 89: 2267-2274.

- Flynn, R.P.; Wood, C.W.; Guertal, E.A. 1995. Lettuce Response to composted broiler litter as a potting substrate component. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* 120(6): 964-970.
- Flynn, P.R.; Wood, C.W. 1996. Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. *Compost Sci. Util.* 4(3): 62-70.
- Fulhage, C.D.; Pfof, D.L. 1994. Spreading poultry litter with lab analysis but without soil tests. *Water Quality Initiative Publication WQ221*. 15. pp: 10.
- García, C.; Hernández, T.; Costa, F.; Ceccanti, B. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Manage. Res.* 12: 457-466.
- Gardner, B.R.; Pew, W.D. 1972. Response of fall grow head lettuce to nitrogen fertilization. *Arizona Agricultural Experimental Station (Technical Bulletin 199)*.
- Garrido, C. 2001. Efecto de la salinidad en el rendimiento y calidad de fruto del pimiento californiano. *Agrícola vergel: Fruticultura, horticultura, floricultura*. 238: 533-540.
- Gaskell, Ph.D.M. 1999. Efficient use of organic nitrogen fertilizer sources; presented to Organic Farming Research Foundation. *Farm Advisor*. University of California Cooperative Extension in Santa Marina. pp: 17. Obtención: Pacific Calcium Inc. Disponible en: <http://www.docstoc.com/docs/33399197/Efficient-use-of-organic-nitrogen-fertilizer-sources-in---Organic>. Último acceso: 07/12/2012.
- Ghanbarian, D.; Youneji, S.; Fallah, S.; Farhadi, A. 2008. Effect of broiler litter on physical properties, growth and yield of two cultivars of cantaloupe (*Cucumis melo*). *Int. J. Agr. Biol.* 6: 697-700.
- Giardini, L.; Pimpini, F.; Borin, M.; Gianquinto, G. 1992. Effects of poultry manure and mineral fertilizers on the yield of crops. *J. Agri. Sci.* 118: 207-213.
- Glatz, P.; Miao, Z.; Rodda, B. 2011. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A Review. *Sustain.* 3(1): 216-237.
- González, F.V.M. 2004. Horticultura en Galicia, un desarrollo distinto. *Hortic. Int.* 45(Ag.): 36-43.
- González, M.; Centurion, A.; Sauri, E. 2005. Influence of refrigerated satorage on the quality and shelf life of "Habanero" chili peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Acta Hort.* 682: 1297-1302.
- Gonzalez, C.P.C. 2011. Naturaleza y sociedad. El valor de los espacios verdes urbanos. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Monografía. pp: 109.
- Gordillo, R.M.; Cabrera, M.L. 1997a. Mineralizable nitrogen in broiler litter: I. Effect of selected litter chemical characteristics. *J. Environ. Qual.* 26(6): 1672-1679.

- Gordillo, R.M.; Cabrera, M.L. 1997b. Mineralizable nitrogen in broiler litter: II. Effect of selected soil characteristics. *J. Environ. Qual.* 26(6): 1679-1686.
- Guo, M.; Qiu, G.; Song, W. 2010. Poultry litter-based activated carbon for removing heavy metal ions in water. *Waste Manage. Res.* 30: 308-315.
- Gutiérrez, M.C. 2010. El cultivo de la lechuga en Cantabria. Ed. Gobierno de Cantabria. Consejería de Desarrollo rural, Ganadería, Pesca y Biodiversidad. Dirección General de Desarrollo rural. pp: 24.
- Habetz, D.; Echols, R. 2006. Development of Successful Poultry Litter-to-Energy Furnace. ASABE Annual International Meeting, Portland Convention Center, Portland, Oregon, 9-12 July 2006. Disponible en: <http://www.americanheatandpower.com/pdf/ASABE-06%20Poultry%20Litter%20to%20Energy.pdf>. Último acceso: 13/01/2013.
- Hamdar, B.C.; Rubeiz, I.G. 2000. Organic farming: Economic efficiency approach of applying layer litter rates to greenhouse grown strawberries. *Small Fruits Review.* 1(1): 3-13.
- Hamilton, C.M.; Sims, J.T. 1994. Nitrogen and phosphorus availability in enriched, pelletized poultry litters. *J. Sustain. Agric.* 5(3): 115-132.
- Hanlon, E.A.; Hochmuth, G.J. 2000. Reference sufficiency ranges vegetable crops, bell pepper. Communication Specialist Agronomi Division of the N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.com/agronomi/saaesd/pepper.htm>. Último acceso: 07/12/2012.
- Hansen, C.H.R.; Keener, H.M.; Warren, A.D.; Marugg, C.; Hoitink, H.A.J. 1990. Poultry manure composting ammonia capture and aeration control. *Am. Soc. Agr. Engineers.* 24-27: 1-18.
- Hasler, C.M. 1998. Functional foods: their role in disease prevention and health. *Food Technol.* 52: 63-69.
- Haynes, J.R.; Judge, A. 2008. Influence of surface-applied poultry manure on topsoil and subsoil acidity and salinity: A leaching column study. *J. Plant Nutr. Soil Sci. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd.* 171(3): 370-377.
- He, Z.; Honeycutt, C.W.; Tazisong, I.A.; Senwo, Z.N.; Zhang, D. 2009. Nitrogen and phosphorus Accumulation in Pasture Soil from Repeated Poultry Litter Application. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 587-598.
- Hemphill, J.R.; Jackson, T.L. 1982. Effect of soil acidity and nitrogen on yield and elemental concentration of bush bean, carrot and lettuce. *J. Am. Soc. Hor. Scienc.* 107: 40-744.

- Henry, S.T.; White, R.K. 1993. Composting broiler litter from two management systems. *Trans. ASAE*. 36(3): 873-877.
- Heredia, Z.N.; Vieira, C.M.; Cabeças, J.O. 1997. Producao de alface em funcao de doses e formas de aplicacao de cama de aviario semi-decomposta. *Hortic. Bras.* 15(1): 65-67.
- Hewitt, E.S. 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. *Ann. Rev. Plant physiol.* 26: 72-100.
- Hirzel, J.; Rodríguez, N.; Zagal, E. 2004. Effect of different doses of N, P, K inorganic fertilization and organic source (poultry litter) on maize production and soil fertility. *Agr. Tec.* 64(4): 365-374.
- Hochmuth, G.; Secker, I.; Jones, R.T. 1994. N requeriments of cris phead lettuce grown with drip irrigation on polyethylene mulched beds. 25 th National Agricultural Plastics Congress. Prodedings of a Conference Held in Lexington, KY, USA. pp: 96-100.
- Hochmuth, G. 1996. Fertilization of pepper in florida. Fla. Coop. Ext. Serv. Cir. 1.168. Obtención University of Florida IFAS Extension. Disponible en: <http://ucanr.org/sites/nm/files/76616.pdf>. Último acceso: 07/12/2012. Último acceso: 13/01/2013.
- Hotchkiss, J.H.; Cassens, R.G. 1987. Nitrate, Nitrite and Nitroso Compounds in Foods. *Food Technol.* 41(4): 127-136.
- Howard, L.R.; Smith, R.T.; Wagner, A.B.; Villalon, B.; Burns, E.E. 1994. Provitmain A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annum*) and processed jalapenos. *J. Food Sci.* 59: 362-365.
- Howard, L.R.; Talcott, S.T.; Brenes, C.H.; Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum Species*) as influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1713-1720.
- Informe Comisión Europea, 2012. Unión Europea, Dirección General para la Agricultura y el Desarrollo Rural. Agricultura en la Unión Europea, Informe Económico y Estadístico de 2011. Publicado en marzo de 2012. Disponible en: [http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/agricultural/2011/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/statistics/agricultural/2011/index_en.htm). Último acceso: 09/12/2012.
- Institute for European Environmental Policy (IEEP). 2010. Final Report – Supporting the Thematic Strategy on Waste Prevention and Recycling. Service Request Five Under Contract. ENV.G.4/FRA/2008/0112. 25 October 2010. Final report. Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Final%20Report%20final%2025%20Oct.pdf>. Último acceso: 14/08/2012. Último acceso: 13/01/2013. pp: 194.

- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2009. Estadística sobre la generación de residuos en la agricultura 2003-2006. Disponible en: [http://www.ine.es/daco/daco42/resiurba/residuosagri\\_0306.pdf](http://www.ine.es/daco/daco42/resiurba/residuosagri_0306.pdf). Último acceso: 14/08/2012. pp: 90.
- Jadczak, D.; Grzeszczuk, M.; Kosecka, D. 2011. Quality characteristics and content of mineral compounds in fruit of some cultivars of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Elementol. 15: 509-515.
- Jarvis, P.J.; Ecclestone, P.M.J.; Armstrong, M.J. 1997. Rates and timing of poultry manure to maximise sugar beet yield and quality, optimise fertiliser inputs and reduce nitrate leaching. Comptes Rendus des Congres de l'Institut International de Recherches Betteravieres (Belgium). 60: 55-61.
- Jenner, M.W. 1997. Reinventing manure: managing nutrients by adding value. AFBF Agricultural/Community Watershed Heros Conference Amana, IA. pp: 5.
- John, N.M.; Adeoye, G.O.; Sridhar, M.K.C. 1996. Compost pelletization eases end use in Nigeria. Biocycle. 37(6): 55-56.
- Jones, D.; Friday, W.H. 2012. Manure pit ventilation in confinement livestock buildings. Purdue University. Cooperative Extension Service. West Lafayette, IN 47907. AE-98. Disponible en: <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/AE/AE-98.html>. Último acceso: 29/08/2012.
- Jouis, E.; Hangard, E. 1957. Enquete sur la composition des fumiers francais. Ann. Agr. 6: 903-944.
- Katayama, M. 1993. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeriao. En: Nutrição e adubação de hortaliças. Ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. pp: 141-148.
- Kee, Ed.; Wootten, T. 1995. Evaluation of poultry manure as a fertilizer source for watermelon production. University of Delaware Research and Education Center. pp: 8.
- Kee, Ed; Wootten, T. 1996. Evaluation of poultry manure as a fertilizer source for watermelon production. University of Delaware Research and Education Center. pp: 8.
- Keemppainen, E. 1987. Effect of litter peat, straw and sawdust on the evaluate of cow manure. Ann. Agr. Fenn. 26: 79-88.
- Kelleher, B.P.; Leahy, J.J.; Henihan, A.M.; O'dwyer, T.F.; Sutton, D.; Leahy, M.J. 2002. Advances in poultry litter disposal technology-a review. Bioresour. Technol. 83(1): 27-36.

- Kingery, W.L.; Wood, C.W.; Delaney, D.P.; Williams, J.C.; Mullins, G.L. 1994. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *J. Environ. Qual.* 23: 139-147.
- Koerner, I.; Trevino-Garza, E.; Stegmann R. 2003. Concepts for the treatment of chicken manure: Investigations regarding the production of agglomerats. *Proceedings of ORBIT.* pp: 805-817.
- Konstantopoulou, E.; Kapotis, G.; Salachas, G.; Petropoulos, S.A.; Chatzieustratiou, E.; Karapanos, I.C.; Passam, H.C. 2012. Effect of Nitrogen Application on Growth Parameters, Yield and Leaf Nitrate Content of Greenhouse Lettuce Cultivated during Three Seasons. *J. Plant Nutr.* 35(8): 1246-1254.
- Koon, L.J.; Flood, C.A.; Trumbull, R.D.; McCaskey, T.A.; Brewer, R.N. 1992. Physical and chemical characteristics of pine shavings poultry litter. *Trans. ASAE.* 35(5): 1653-1657.
- Kpombrekou, A.K.; Ankumah, R.O.; Ajwa, H.A. 2002. Trace and non trace element contents of broiler litter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33(11-12): 1799-1811.
- Kroodsma, I.W. 1986. Treatment of livestock manure: Air drying and composting poultry manure. In: *Odour prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming, The Netherlands.* pp: 166-174.
- Kunkle, W.E.; Carr, L.E.; Carter, T.A.; Bossard, E.H. 1981. Effect of flock and floor type on the levels of nutrients and heavy metals in broiler litter. *Poultry Sci.* 60: 1160-1164.
- Kuykendall, H.A.; Cabrera, M.L.; Hoveland, C.S. 1999. Stoching method effects on nutrient runoff from pastures fertilized with broiler litter. *J. Environ. Qual.* 28(6): 1886-1890.
- Lastra, O.; Tapia, M.L.; Razeto, B.; Rojas, M. 2009. Respuesta de la lechuga hidropónica a distintos tratamientos de nitrógeno: crecimiento y contenido de nitrógeno en las hojas. *Idesia (Arica).* 27(1): 83-89.
- Lee, S.K.; Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Post. Biol. Tech.* 20: 207-220.
- Lee, J.J.; Crosby, K.M.; Pike, L.M.; Yoo, K.S.; Leskovar, D.I. 2005. Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum spp.*). *Sci. Hortic.* 106: 341-352.
- Leenhardt, T.D.; Lafolie, F.; Bruckler, L. 1998. Evaluating irrigation strategies for lettuce by simulation II Nitrogen budget. *Eur. J. Agron.* 8: 266-278.

- Lisiewska, Z.; Kmiecik, W. 1996. Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chem.* 57(2): 267-270.
- Li-Xian, Y.; Guo-Liang, L.; Shi-Hua, T.; Gavin, S.; Zhao-Huan, H. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Sci. Total Environ.* 383(1-3): 106-114.
- López-Mosquera, M.E.; Carral, E.; López-Fabal, A.; Rodríguez-López, M.T.; Bande, M.J.; Cabaleiro, F.; Carballo, E.; García-Fernández, J.; Gómez-Sánchez, R.; Ferreira, P.; Matos, M.; Sainz, M.J. 2011. Potencial fertilizante de estiércol deshidratado y granulado de pollo en cultivos hortícolas y forrajeros. En: *Gestión de residuos de uso agrícola*. 1ª Ed. López-Mosquera, M.E.; Sainz Osés, M.J. (Coord.). ISBN edición digital: 978-84-9887-822-6. Servizo Publicacións e Investigación Científica. Universidade Santiago de Compostela. pp: 115-126.
- Lundberg, J.O.; Weitzberg, E.; Gladwin, M.T. 2008. The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nat. Rev. Drug Discov.* 7: 156-167.
- Magge, P.N.; Barnes, J.M. 1956. *Brit. J. Cancer.* 10: 114-122. Citado por Klein, D.; Poullain, B.; Debry, G. (1976). Les nitrosamines revue. *Ann. Nutr. Alim.* 30: 1-13.
- MAGRAMA, 2005. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 13/01/2013.
- MAGRAMA, 2011. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 13/01/2013.
- Mahimairaja, S.; Bolan, N.S.; Hedley, M.J.; Macgregor, A.N. 1994. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment. *Bioresour. Technol.* 47(3): 265-273.
- Malone, G.W. 1992. Nutrient enrichment in integrated broiler production systems. *Poultry Sci.* 71: 1117-1122.
- Margoczi, K.; Takacs, E.; Tecsi, L.; Maroti, I. 1991. Photosynthesis and production of two *Capsicum annuum* L. Cultivars at different nitrate supplies. *Hort. Abstr.* 61: 3777.
- Marín, A.; Ferreres, F.; Tomás-Barberán; F.A.; Cil; M.I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 52: 3861-3869.

- Markus, F.; Daood, H.G.; Kapitany, J.; Biacs, P.A. 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 47: 100-107.
- Maroto, B.J.V. 1982. *Horticultura Herbácea Especial*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid (4ª ed. 1995). Monografía. pp: 611.
- Marschner, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. pp: 651.
- Marshall, S.B.; Wood, C.W.; Braun, L.C.; Mullen, M.D.; Guertal, E.A. 1998. Ammonia volatilization from tall fescue pastures fertilized with broiler litter. *J. Environ. Qual.* 27(5): 1125-1129.
- Martin, A.M.; Evans, J.; Porter, D.; Patel, T.R. 1983. Comparative effects of peat and sawdust employed as bulking agents in composting. *Bioresour. Technol.* 44(1): 65-69.
- Martín, E.G. 1992. Farmer Automatic resolvió un problema ecológico. *Selecciones avícolas.* 34(3): 165-172.
- Martinetti, L. 1996. Contenuto di nitrati e nitriti in lattuga (*Lactuca sativa*, L.) al variare della concimazione azotata. *Riv. Agron.* 30: 92-96.
- Masarirambi, M.T.; Dlamini, P.; Wahome, P.K.; Oseni, T.O. 2012. Effects of Chicken Manure on Growth, Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) 'Taina' Under a Lath House in a Semi-Arid Sub-Tropical Environment. *American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci.* 12(3): 399-406.
- Maynard, D.N.; Barker, A.V.; Minotti, P.L.; Peck, N.H. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28: 71-117.
- McPharlin, I.R.; Aylmore, P.M.; Jeffery, R.C. 1995. Nitrogen requirements of lettuce under sprinkler irrigation and trickle fertigation on spear wood sand. *J. Plant Nutrition.* 18: 219-241.
- Meijide, J.A.F. 1996. Posibilidades de manexo eficiente dos residuos gandeiros en Galicia. *Residuos ganaderos y medio ambiente*. Fundación Semana Verde de Galicia.
- Menoyo, A.P. 1995. Valoración agronómica de la gallinaza. *Compostaje*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. Vitoria-Gasteiz. Ed: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. pp: 325.
- Mensinga, T.; Speijers, G.; Meulenbelt, J. 2003. Health implication of exposure to environmental nitrogenous compounds. *Toxicol Review.* 22: 41-51.
- Merino, D.; Ansorena, J. 1990. Nitratos en hortalizas. *Sustrai.* 20(3): 39-41.

- Merino, D.; Ansorena, J. 1993. Recomendaciones para el cultivo de hortalizas con bajo contenido en nitratos. *Hortic.* 90: 11-21.
- Merino, D.; Ansorena, J. 1994. Nitratos en lechugas. Influencia del abonado nitrogenado en el contenido de nitratos en lechugas de verano. *Hortic.* 99: 13-18.
- Messianen, C.M.; Lafón, R. 1967. Enfermedades de las hortalizas. Ed. Oikos-Tau. Vilassar de Mar (Barcelona). INRA. París (3ª ed. 1991). pp: 179.
- Miller, A.J.; Smith, S.J. 1996. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. *J. Exp. Bot.* 47: 843-854.
- Mirvish, S.S. 1997. N-nitroso compounds, nitrite and nitrate: possible implications for the causation of human cancer. *Prog. Water Technol.* 8:195-207.
- Mitchell, C.C.; Donald, J.O. 1995. The value and use of poultry manures as fertilizer. *An. Cir. (Rosario): ANR-244. Ala. Coop. Ext. Serv., Auburn University, AL.* Disponible en: <http://hubcap.clemson.edu/~blpprt/Aub+244.html>. Último acceso: 21/08/2012.
- Mondini, C.; Chiumenti, R.; da Borso, F.; Leita, L.; De Nobili, M. 1996. Changes during processing in the organic matter of composted and air-dried poultry manure. *Bioresour. Technol.* 55: 243-249.
- Moreki, J.C.; Chiripasi, S.C. 2011. Poultry waste management in Botswana: a review. *Online J. Anim. Feed Res.* 1(6): 285-292.
- Moulinier, M.; Mazoyner, M. 1966. De la salinité dans les sols sous abri. *C.R. d'Agriculture.* 7: 499.
- Mozafar, A. 1993. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review. *J. Plant Nutr.* 16(12): 2479-2506.
- Mozafar, A. 1994. Plant vitamins: agronomic, physiological and nutritional aspects. C.R.C. Press: Boca Raton, F.L. Monografía. pp: 412.
- Mufwanzala, N.; Dikinya, O. 2010. Impact of Poultry Manure and its Associated Salinity on the Growth and Yield of Spinach (*Spinacea oleracea*) and Carrot (*Daucus carota*). *Int. J. Agric. Biol.* 12(4): 489-494.
- Mukhtar, S.; Ullman, J.L.; Carey, J.B.; Lacey, R.E. 2004. A Review of Literature Concerning Odors, Ammonia and Dust from Broiler Production Facilities: 3. Land Application, Processing and Storage of Broiler Litter. *J. Appl. Poultry Res.* 13: 514-520.
- Myczkowsk, J.; Rocek, S.; Sady, W.; Wojtaszek T. 1986. Some indices of nitrate metabolism in lettuce grown by the nutrient film technique on varying nutrient solutions. *Acta Physiologie Plantarum.* 8: 43-52.

- Nagy, S. 1980. Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *J. Agric. Food Chem.* 28(1): 8-18.
- Navarro, P.; Moral, H.; Gómez, L.; Mataix, B. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante Secretaria de Publicaciones. pp: 108.
- Netthisinghe, A.M.P.; Rowland, N.S.; Sistani, K.R.; Willian, T.W.; Gilfillen, B. 2011. Inorganic fertilizers after broiler litter amendment reduce surplus nutrients in orchardgrass soils. *Agron. J.* 103(2): 536-543.
- Nicholson, F.A.; Chambers, B.J.; Smith, K.A. 1996. Nutrient composition of poultry manures in England and Wales. *Bioresour. Technol.* 58: 279-284.
- Nicholson, FA; Chambers, BJ; Smith, KA; Harrison, R. 1999. Spring applied organic manures as a source of nitrogen for cereal crops: experiments using field scale equipment. *J. Agri. Sci.* 133(4): 353-363.
- Nisperos-Carriedo, M.O.; Buslig, B.S.; Shaw, P.E. 1992. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC. *J. Agric. Food Chem.* 40: 1127-1130.
- Nuez, F.; Liácer, G. 2001. *La Horticultura Española*. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona Monografía. pp: 491.
- Núñez-Ramírez, F; Gonzalez-Mendoza, D; Grimaldo-Juarez, O; Cervantes, D.L. Nitrogen fertilization effect on antioxidants compounds in fruits of habanero chili pepper (*Capsicum chinense*). *Int. J. Agric. Biol.* 13(5): 827-830.
- O'Sullivan, J. 1979. Response of peppers to irrigation and nitrogen. *Can. J. Plant Sci.* 59: 1085-1091.
- Oikeh, S.O. ; Asiegbu, J.E. 1993. Growth and yield responses of tomatoes to sources and rates of organic manures in ferralitic soils. *Bioresour. Technol.* 45(1): 21-25.
- Olsen, J.K.; Lyons, D.J.; Kelly, M.M. 1993. Nitrogen uptake and utilization by bell pepper in subtropical Australia. *J. Plant Nutr.* 16(10): 2055-2071.
- Omeira, N.; Barbour, E.K.; Nehme, P.A.; Hamadeh, S.K.; Zurayk, R.; Bashour, I. 2006. Microbiological and chemical properties of litter from different chicken types and production systems. *Sci. Total Environ.* 367(1): 156-162.
- Opara, N.C.; Asiegbu, J.E. 1996. Nutrient content of poultry manures and the optimum rate for Eggplant fruit yield in a weathered tropical alfisol. *Biol. Agric. Hortic.* 13: 341-350.
- Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, B.O.E., 25/03/2011; por la que se modifican los Anexos I, II, III, IV, V y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

- Osuna-García, J.A.; Wall, M.M.; Waddell, C.A. 1998. Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of New Mexican-type Chile (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 46(12): 5093-5096.
- Pannala, A.S.; Mani, A.R.; Spencer, J.P.E.; Skinner, V.; Bruckdorfer, K.R.; Moore, K.P.; Rice-Evans, C.A. 2003. The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans. *Free. Rad. Biol. Med.* 34: 576-584.
- Parente, A.; Gonnella, M.; Santamaria, P.; L'Abbate, P.; Conversa, G.; Elia, A. 2004. Nitrogen fertilization of new cultivars of lettuce. *International Symposium Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production 700. Acta Hort.* 700: 137-140.
- Pascual, J.A.V. 1995. Efectividad de los residuos orgánicos urbanos en la mejora de la calidad de suelos áridos: aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia.
- Patterson, P.H.; Lorenz, E.S.; Weaver, Jr.W.D. 1998. Litter production and nutrients from commercial broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 7: 247-252.
- Pavlou, G.C.; Ehaliotis, C.D.; Kavadias, V.A. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Sci. Hortic.* 111(4): 319-325.
- Payne, V.W.E.; Donald, J.O. 1991. Poultry-waste management and environmental protection manual. Alabama Cooperative Extension Service, Circular ANR-580, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Pereira, N.N.C.; Fernández, M.S.; Almeida, D.L. 1989. Adubacao nitrogenada na cultura da alface fontes de Nitrogenio e inibidor de nitrificacao. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 24(6): 647-654.
- Pérez-López, A.J.; Amor del, F.M; Serrano-Martinez, A.; Fortea, M.I.; Nuñez-Delicado, E. 2007a. Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2075-2080.
- Raviv, M.; Medina, S.; Shamir, Y. 1999. Composting-A method to improve results of poultry manure composting. *Compost Sci. Util.* 7(2): 70-73.
- 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. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:320:0015:0017:ES:PDF>. Último acceso: 09/12/2012.
- Reinink, K.; Eenink, A.H. 1988. Genotypical differences in nitrate accumulation in shoots and roots of lettuce. *Sci. Hortic.* 37: 13-24.

- Reinink, K. 1991. Genotypes and Environmental Interaction for Nitrate Concentration in Lettuce. *Plant Breeding*. 107: 39-49.
- Rico, A.J. 1983. Cultivo de pimiento de carne gruesa en invernadero. Colección Agricultura Práctica. Ed. Publicaciones de extensión agraria. Madrid. pp: 268.
- Riemersma, R.A. 1994. Epidemiology and the role of antioxidants preventing coronary heart disease: a brief overview. *Proc. Nutr. Soc.* 53: 59-65.
- Rincón, L.; Saez, J.; Balsalobre, E.; Pellicer, C. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. *Invest. Agr.: Prod. Prot. veg.* 10(19): 47-59.
- 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. Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Estación Sericícola. C/ Mayor s/n. 30150, La Alberca (Murcia).
- Rincón, L.S. 2003. La fertilización del tomate y del pimiento grueso. *Vida Rural*. 164: 36-40.
- Rodríguez, J.R.; Lobo, M.A. 1972. Fertilización de hortalizas en solos volcánicos en antigua y caldas. *Rev. ICA*. 7: 219-232.
- Roorda Van Eysinga J.; Van Der Meijs G. 1985. Effect of nitrogen nutrition and global radiation on yield and nitrate content of lettuce grown under glass. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 16: 1293-1300.
- Röper, H.; Khan, S.; Körner, I.; Stegmann, R. 2005. Low-tech options for chicken manure treatment and application possibilities in agriculture. *Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy. pp:10.
- Rosegrant, M.W.; Thornton, P.K. 2008. Do higher meat and milk prices adversely affect poor people? *id21 insights* 72, 3-4. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>. Último acceso: 15/08/2012.
- Roura, S.I.; Moreira, M.R.; Crapiste, G.H.; del Valle, C.E. 2001. Biochemical characterization of two pepper varieties in the green and red ripening stages. *Italian J. Food Science*. 13(4): 391-397.
- Rozek, S.; Wojciechwska, R. 1990. Effect of light and growth regulators on the circadian rhythm of nitrate reductase and nitrite reductase activities in greenhouse lettuce leaves. *Folia Hortic.* 2(1): 53-64.
- Rubeiz, I.G.; Farran, M.T.; Khoury, R.Y.; Al-Assir, I.A. 1992. Comparative evaluation of broiler and layer poultry manure for greenhouse lettuce production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23(7/8): 725-731.

- Rubeiz, J.G.; Khansa, M.; Freiwat, M.M. 1998. Evaluation of layer litter rates as a fertilizer for greenhouse strawberry and lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(1-2): 161-167.
- Rubio, J.S.; Sanchez, F.G.; Flores, P. 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilization with Ca and K. *Sapnish J. Agric.* 8: 170-177.
- Safley, L.M. 1987. Operating a full-scale poultry manure anaerobic digester. *Biol. Wastes.* 19: 79-90.
- Salomez, J.; Hofman, G. 2009. Nitrogen Nutrition Effects on Nitrate Accumulation of Soil-Grown Greenhouse Butterhead Lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40(1-6): 620-632.
- Sánchez, C.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. *HortScience.* 35: 73-77.
- Santamarina, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86(1): 10-17.
- Sardas, S. 2003. The role of antioxidants in cancer prevention and treatment. *Indoor Built Environ.* 12: 401-404.
- Sartaj, M.; Fernandes, L.; Patni, N.K. 1997. Performance of forced, passive, and natural aeration methods for composting manure slurries. *Trans. ASAE.* 40(2): 457-463.
- Schimper, A.F.W. 1903. *Plant geography upon a physiological basis.* Claredon, Oxford.
- Seno, S.; Saliba, G.G.; Paula, F.J.; Koga, P.S.; Arantes, A.L.S. 1993. Efeitos de tipos e níveis de adubo orgânico na cultura do alho (*Allium sativum* L.), cv. roxo pérola de caçador, na regio de ilha solteira-sp. *Cultural Agronómica, Ilha Solteira.* 2(1): 111-118.
- Seno, S.; Saliba, G.G.; Paula, F.J.; Koga, P.S. 1996. Efeitos de doses de fósforo e esterco de galinha na produção do alho (*Allium sativum* L.), "roxo pérola de caçador". *Científica, Sao Paulo.* 24(1): 127-133.
- Simpson, K. 1986. *Fertilizers and manures.* New York Longman Group Limited. Monografía. pp: 254.
- Sims, J.T.; D.C. Wolf. 1994. Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. In: D.L. Sparks, editor, *Advances in Agronomy*, volume 52, Academic Press, New York. pp: 2-83.
- Sims, J.T.; Bergström, L.; Bowman, B.T.; Oenema, O. 2005. Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. *Soil Use Manage.* 21: 141-151.

- Sims, J.T.; McGrath, J.M.; Shober, A.L. 2008. Nutrient mass balances for the state of Delaware 1996 to 2006. University of Delaware, Newark, DE.
- Siomos, A.S.; Papadopoulou, P.P.; Dogras, C.C.; Vasiliadis, E.; Dosas, A.; Georgiou, N. 2000. Lettuce composition as affected by genotype and leaf position. *Acta Hort.* 579: 635-639.
- Sistani, K.R.; Rowe D.E.; J. Johnson; H. Tewolde. 2003. Supplemental nitrogen effect on broiler-litter-fertilized cotton. *Agron. J.* 96: 806-811.
- Sistani, K.R.; Adeli, A.; Tewolde, H.; Rowe, D.E. 2007. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(3): 974-983.
- Sites, J.W. 1947. Internal fruit quality as related to production practices. *Proc. Fla. State Horti. Soc.* 60: 55-62.
- Slangen, J.; Glas, W.; Titulaer, H. 1988. The importance of fertigation for the improvement of N fertilizer use efficiency in lettuce culture. *Fertilization of Vegetables. Acta Hort.* 222: 135-146.
- Smirnoff, N.; Wheeler, G.L. 2000. Ascorbic acid: biosynthesis and function. *Crit. Rev. Plant Sci.* 9: 267-290.
- Smith, P.F.; Rasmussen, G.K. 1960. Relationship of fruit size, yield, and quality of Marsh grapefruit to potash fertilization. *Proc. Fla. State Horti. Soc.* 73: 42-49.
- Smith, K.A.; Chambers, B.J. 1993. Utilizing the nitrogen content of organic manures on farms-problems and practical solutions. *Soil use Manage.* 9(3): 105-112.
- Sommer, S.G.; Hutchings, N. 1995. Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. *Water Air Soil Poll.* 85(1): 237-248.
- Sonnemberg, P.E. 1985. *Olericultura especial*. 3<sup>a</sup> ed., Goiania: UFG.
- Spiegelhalder, B.; Eisenbrand, G.; Preussmann, R. 1976. Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to in vivo formation of N-nitroso compounds. *Food. Cosmet. Toxicol.* 14: 545-548.
- Stahelin, H. B.; Gey, F.; Brubacher, G. 1989. Preventive potential of antioxidative vitamins and carotenoids on cancer. In *Elevated Dosages of Vitamins*. (Walter, P.; Stahelin, H.; Brubacher, G; eds). Hans Huber, Toronto. pp: 232-241.
- Stephan, M. 1973. La fertilisation. La laiture de serre. Journées d'études. INVUFLEX. Paris. pp: 87-92.
- Stephenson, A.H.; McCaskey, T.A.; Ruffin, B.G. 1990. A survey of broiler litter composition and potential value as a nutrient resource. *Biol. Wastes.* 34: 1-9.

- Stingone, J.A.; Wing, S. 2011. Poultry litter incineration as a source of energy: reviewing the potential for impacts on environmental health and justice. *New solutions*. 21(1): 27-42.
- Stintzing, A.R.; Salomon, E. 2000. Application of Broiler Chicken Manure to Lettuce and Cabbage Crops. Effect on Yield, Plant Nutrient Utilisation and Mineral Nitrogen in Soil. Workshop Towards and Ecologically Sound Fertilisation in Field Vegetable Production. *Acta Hort*. 571: 119-126.
- Summers, P. 1977. Asimilación de los nutrientes por el maíz y efectos de sus deficiencias. *Fertilización*. 74: 3-7.
- Suntornsuk, L.; Gritsanapun, W.; Nilkamhank, S.; Paochom, A. 2002. Quantitation of vitamin C content in herbal juice using direct titration. *J. Pharm. Biomed. Anal*. 28(5): 849-855.
- Sweeten, J.M. 1988. Composting manure and sludge. L-2289, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, Texas. pp: 4.
- Sweeten, J.M.; Auvermann, B.W. 2008. Composting manure and sludge. Texas Agricultural Extension Service. Department of Poultry Science. The Ohio State University, Columbus, Ohio (USA). Disponible en: [http://amarillo-tamu-edu.wpengine.netdna-cdn.com/files/2011/01/e479\\_01.pdf](http://amarillo-tamu-edu.wpengine.netdna-cdn.com/files/2011/01/e479_01.pdf). Último acceso: 15/08/2012.
- Tei, F.; Benincasa, P.; Guiducci, M. 2002. Critical nitrogen concentration in lettuce. XXVI International Horticultural Congress: Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production 627. *Acta Hort*. 627: 187-194.
- Tejada, M.; Garcia, C.; González, J.L.; Hernández, M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biol. Biochem*. 38(6): 1413-1421.
- Tejada, M.; Gonzalez, J.L. 2008. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*. 145(3): 325-334.
- Teoh, T.S.; Chua, S.E. 1974. Observations on the use of organic manures in the cultivation of leafy vegetables in Singapore. *Singapore J. Pri. Ind*. 2(1): 39-47.
- Tewolde, H.; Brink, G.E.; Rowe, D.E.; Adeli, A.; Sistani, K.R. 2004. Year-round soil nutrient dynamics from broiler litter application to three bermudagrass cultivars. *Agron. J*. 96(2): 525-530.
- Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Adeli, A.; Johnson, J.R. 2007. Lint yield and fiber quality of cotton fertilized with broiler litter. *Agron. J*. 99: 184-194.

- Tewelde, H.; Shankle, M.W.; Sistani, K.R.; Adeli, A.; Rowe, D.E. 2008. No-till and conventional-till cotton response to broiler litter fertilization in an upland soil: Lint yield. *Agron. J.* 100(3): 502-509.
- Thompson, T.L.; Doerge, T.A. 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated lettuce. Agronomic, economic and environmental out-comes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 168-173.
- Tu, S.; Mitchell, C.C. 2005. Long-term evaluation of poultry litter as a source of nitrogen for cotton and corn. *Agron. J.* 97(2): 399-407.
- Turnell, J.R.; Hinch, G.N.; Faulkner, R.D. 2007. Recent advances in Australian broiler litter utilisation. *World's Poultry Sci. J.* 63: 223-231.
- Valli, L.; Piccinini, S.; Bonazzi, G. 1991. Ammonia emission from two poultry manure drying systems. *Centro Ricerche Produzioni Animali*. pp: 50-58.
- Van der Boon, J.; Steenhuizen, J.W.; Steingröver, E.G. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration,  $\text{NH}_4/\text{NO}_3$  ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65: 309-321.
- Van Ryssen, J.B.J.; Van Malsen, S.; Verbeek, A.A. 1993. Mineral composition of poultry manure in South Africa with reference to the Farm Feed Act. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 23: 54-57.
- Vanderslice, J.T.; Higgs, D.J.; Hayes, J.M.; Block, G. 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-aseaten. *J. Food Compos. Anal.* 3: 105-118.
- Vázquez, F.J.; Petrikova, V.; Villar, M.C.; Carballas, T. 1996. Use of poultry manure and plant cultivation for the reclamation of burnt soils. *Biol. Fert. Soils.* 22(3): 265-271.
- Vigidal, S.M.; Sedyama, M.A.N.; Garcia, NC.P. 1995. Compostos orgânicos contendo dejetos de suíno como fonte de N: Efeito residual da adubação orgânica no estado nutricional de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.). In: Congresso Brasileiro De Ciencia Do Solo. Vicosa: UFV. 2: 672-674.
- Viñals, F.N.; Ortega, R.G.; García, J.C. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp: 607.
- Walker, R. 1975. Naturally occurring nitrate/nitrite in foods. *J. Sci. Food. Agric.* 26: 1.735-1.742.
- Wang, S.Y. 2006. Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. *Acta Hort.* 712: 299-305.
- Weil, R.R.; Kroontje, W.; Jones, G. 1979. Inorganic nitrogen and soluble salts in a Davidson clay loam used for poultry manure disposal. *J. Environ. Qual.* 8: 86-91.

- Williams, C.M. 2012. Poultry waste management in developing countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Poultry Development Review. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/poultry/Environment.html>. Último acceso: 23/08/2012.
- Woese, K.; Kange, D.; Boess, C.; Bogl, K.W. 1995. A comparison of organically and conventionally grown foods-results of a review of the relevant literature. *J. Sci. Food Agric.* 74: 281-293.
- Wood, B.H.; Wood, C.W.; Yoo, K.H.; Yoon, K.S.; Delaney, D.P. 1996. Nutrient accumulation and nitrate leaching under broiler litter amended corn fields. *Commun. Soil Sci. Plant Ana.* 27(15-17): 2875-2894.
- Wood, B.H.; Wood, C.W.; Yoo, K.H.; Delaney, D.P. 1999. Seasonal surface runoff losses of nutrients and metals from soils fertilized with broiler litter and commercial fertilizer. *J. Environ. Qual.* 28(4): 1210-1218.
- Worthington, M.S.V., Sc.D., C.N.S. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Altern. Complem. Med.* 7(2): 161-173.
- Xunta de Galicia. 1992. 100 Anos de Investigación Agraria (1888-1988). Ed. Servicio de Estudios e Publicacións, Secretaría Xeral Técnica, Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Tomo I: 163-185.
- Yahia, E. M.; Contreras-Padilla, M.; Gonzalez-Aguilar, G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Lebensm. Wiss. Technol.* 34: 452-457.
- Zink, F.W.; Yamaguchi, M. 1962. Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce. *Hilgardia.* 32: 471-500.
- Zublena, J.P.; Barker, J.C.; Carter, T.A. 1990. Soil facts. Poultry manure as a fertilizer source. AG439-5, North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, North Carolina.



**Valor fertilizante del estiércol de  
pollo: efectos del deshidratado y  
granulado**

# Valor fertilizante del estiércol de pollo: efectos del deshidratado y granulado

---

## Resumen

Se investigaron los efectos del proceso de deshidratado y granulado en las propiedades del estiércol fresco obtenido en una explotación de pollos de engorde del noroeste de España. Se compararon las principales características físico-químicas y biológicas, y el contenido en nutrientes y metales pesados del producto obtenido con las del estiércol fresco de origen, con el fin de valorar los cambios en su poder fertilizante potencial. Los procesos de deshidratado y granulado redujeron la variabilidad en el contenido de materia seca, conductividad eléctrica, N ureico y contenidos de K, S, Na, Fe, Cu y Cd, entre muestras de cada ciclo productivo; pero la variabilidad aumentó en cuanto a N total, N amoniacal, N nítrico, P total y pH. Las formas de N que contiene el producto granulado se pudieron estimar con precisión razonable en base al contenido en materia seca. Los contenidos de Cr, Cu y Cd fueron significativamente más bajos en el producto deshidratado y granulado que en el estiércol fresco, mientras que el contenido de Pb fue significativamente más alto. El producto deshidratado y granulado es claramente preferible al estiércol fresco en lo que respecta a su fácil almacenamiento y manejo, así como a su perfecta higienización; sin embargo, nuestros resultados sugieren la necesidad de optimizar el proceso de producción a fin de reducir sobre todo la pérdida de N, y minimizar la variabilidad en el contenido de las formas de nitrógeno, contenido de P y pH.

**Palabras clave:** cascarilla de arroz, deshidratación, estiércol de pollo, metales pesados, valor fertilizante

## 1. Introducción

---

La producción de pollos de engorde (*Gallus gallus domesticus*) ha experimentado un crecimiento sostenido, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, durante los últimos 40 años (Sims et al., 2005).

En Europa, aunque en algunos estados miembros se redujo la producción en el año 2003 (Benelux, debido a un brote de gripe aviar) y en el año 2004 (Portugal,

como resultado de la contaminación por aflatoxinas), la producción de carne de pollo se ha ido incrementando en respuesta al aumento del consumo doméstico (AVEC, 2011). Reino Unido, España, Italia y Francia son los principales productores europeos. El censo total europeo de pollos de engorde en 2010 rondó los 1.387 millones (FAOSTAT, 2010), lo cual significa una producción estimada de 0,98 a 1,5 millones de toneladas de estiércol, considerando que cada 1000 aves produce de 0,71 a 1,4 Mg de estiércol (Collins, 1996; Patterson et al., 1998).

El estiércol de pollo está formado principalmente por heces, material de la cama (por ejemplo serrín, virutas, cascarilla de arroz, cáscara de cacahuete), plumas y restos de comida. Contiene materia orgánica y nutrientes minerales (N, P, K), y ha sido utilizado durante mucho tiempo como fertilizante y enmienda para numerosos cultivos económicamente importantes, incluyendo maíz (Moss et al., 2001; Endale et al., 2008; Sistani, et al., 2008b), algodón (Tewolde et al., 2007), soja (Adeli et al., 2005), pastos (Kingery et al., 1993; Evers, 1998; Sistani, et al., 2008a) y especies hortícolas (Rubeiz et al., 1998; Brown et al., 1995). En las naves de producción de pollos de engorde, el estiércol se retira periódicamente y se almacena en locales cubiertos o al aire libre hasta su transporte y aplicación en campo, lo que habitualmente se hace en el periodo otoño-invierno, antes de arar, aunque el estiércol de pollo de engorde también se puede aplicar con éxito en primavera (Nicholson et al., 1999). A pesar de que las necesidades de fertilización de los cultivos son estacionales, la producción de estiércol es constante a lo largo de todo el año, ya que los ciclos de producción duran unos 2 meses. En consecuencia, el estiércol a menudo se acumula, o bien se aplica en un periodo incorrecto o en cantidades excesivas.

El almacenamiento resulta a menudo tan problemático que el estiércol es abandonado como deshecho. Tanto el almacenamiento como la aplicación inadecuada pueden ocasionar problemas de contaminación, incluyendo emisiones de nitrógeno a la atmósfera, contaminación química y microbiana de acuíferos, y malos olores (Sims y Wolf, 1994). En el Reino Unido, por ejemplo, en los años noventa un 19 % de las emisiones de nitrógeno agrícola estimadas (Pain et al., 1996) y un 25 % de los casos de malos olores agrícolas se debían al estiércol de pollo (MAFF, 1992).

Las técnicas de deshidratado y granulación podrían ser herramientas eficaces y económicamente rentables para reducir el volumen, disminuir los malos olores y facilitar el almacenamiento del estiércol de pollo. Se ha demostrado que la reducción en el contenido de humedad y en volumen que se consigue en residuos orgánicos deshidratados y granulados determina no solo un mejor almacenamiento, sino también mejor transporte y aplicación al suelo (John et al., 1996). En el caso del estiércol de pollo, estas técnicas permitirían obtener, además de un producto fácil de almacenar, un material que no produzca lixiviados y que no huela mal, lo que redundaría en el aumento de su aceptación ambiental y valor económico. Por otra parte, el estiércol fresco de pollo presenta una carga significativa de patógenos y

antibióticos (Sims y Wolf, 1994), que podría reducirse también a través de la deshidratación y granulación del producto.

Varios estudios previos han investigado los beneficios del deshidratado de estiércol de pollo en lo que concierne al manejo y al riesgo de contaminación por nitrógeno (Wood y Hall, 1991; Mondini et al., 1996). Sin embargo, en nuestro conocimiento, apenas se han realizado estudios sobre los efectos de la deshidratación y granulación en su valor fertilizante. El objetivo de este capítulo es investigar los efectos de estos procesos en las propiedades físico-químicas básicas del estiércol de pollo, así como en los contenidos de nutrientes, metales pesados, patógenos y residuos de antibióticos.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Características de la explotación

El estiércol de pollo procedió de una explotación de pollos de engorde situada en Portomarín (Galicia-NW España). La explotación disponía de 3 naves con suelo de cemento, cada una de 2000 m<sup>2</sup> de superficie, y una densidad de 20 pollos por m<sup>2</sup>. Al comienzo de cada ciclo de producción de 60 días, el suelo de cada nave se cubrió con 5 kg de cascarilla de arroz por m<sup>2</sup>. La cascarilla de arroz es un subproducto de las industrias arroceras del mediterráneo español, ampliamente utilizado actualmente en granjas de pollos del noroeste del país, en sustitución del serrín o de la viruta de pino. La cascarilla de arroz es un absorbente muy eficaz de la humedad (Sweeten, 1.988), y constituye una importante fuente de carbono. En la tabla 1, se presentan las principales características de la cascarilla de arroz usada en las naves de la explotación. Es un material de pH cercano a la neutralidad, con elevada relación C:N y rico en Fe, Mn y Zn.

Tabla 1  
Principales características de la cascarilla de arroz usada como cama en la explotación

| Propiedades generales |       | Contenido en micronutrientes y metales pesados (mg kg <sup>-1</sup> ) |        |
|-----------------------|-------|---|--------|
| Materia seca (%)      | 92,80 | Co  | 2,80   |
| pH                    | 6,64  | Cu  | 2,60   |
| Relación C:N          | 79,83 | Fe  | 108,00 |
| Cenizas (% m.s.)      | 14,60 | Mn  | 429,00 |
| C total (% m.s.)      | 37,02 | Zn  | 22,00  |
| N total (% m.s.)      | 0,46  | Cd  | < 0,02 |
| P (% m.s.)            | 0,002 | Ni  | < 0,10 |
| K (% m.s.)            | 0,29  | Pb  | < 0,10 |
| Ca (% m.s.)           | 0,16  | Cr  | 10,80  |
| Mg (% m.s.)           | 0,11  |   |        |
| Na (% m.s.)           | 0,26  |   |        |
| S (% m.s.)            | 0,07  |   |        |

Al finalizar cada ciclo de producción, una vez retirados los pollos, se quitó el estiércol producido con una pala cargadora y se apiló bajo cubierta, posteriormente se lavaron y desinfectaron los pisos de las naves. A continuación se introdujo cascarilla fresca de arroz para el siguiente ciclo.

## *2.2. Recogida de muestras: estiércol fresco*

Durante cuatro ciclos de producción consecutivos, e inmediatamente después de retirarlo con la pala cargadora, se tomaron muestras del estiércol fresco procedente de cada una de las naves. En concreto, se cogieron diez muestras de 200 g, que fueron obtenidas de diferentes puntos al azar en cada pila, a profundidades de 50-100 cm. Las muestras de estiércol de las tres naves se mezclaron, obteniéndose finalmente una muestra compuesta de unos 2 kg de estiércol fresco. El número total de muestras de 2 kg analizadas fue de 12 (4 ciclos por 3 naves).

## *2.3. Recogida de muestras: estiércol deshidratado y granulado*

El estiércol fresco obtenido al final de cada ciclo de producción se sometió a un proceso de deshidratación y granulación, que se llevó a cabo en una planta de transformación ubicada en la misma explotación, siendo la única industria que produce estiércol deshidratado y granulado de pollo de engorde en España. El estiércol fresco se pasó primeramente por un túnel de secado a 250 °C; a continuación el material se trituró en un molino de martillos y se homogeneizó, y posteriormente se granuló en una prensa granuladora, obteniéndose gránulos de 5 mm de diámetro y 12-14 mm de longitud. Para el presente estudio, durante el procesado del estiércol de cada nave, se tomaron 8 muestras de 200 g del producto deshidratado y granulado obtenido cada hora durante un período de fabricación de 8 horas. Estas 8 muestras de gránulos se mezclaron para conseguir una muestra final de 1,6 kg. El número total de muestras compuestas de 1,6 kg de estiércol granulado fue de nuevo de 12 (4 ciclos por 3 naves).

## *2.4. Análisis químicos*

Submuestras de estiércol fresco y de estiércol granulado se secaron en estufa a 105 °C durante 24 horas para determinar la humedad. El restante estiércol fresco se dejó secar al aire y, una vez seco, se tamizó por tamiz de 2 mm para eliminar restos de plumas. El estiércol granulado restante se molió hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm.

Se detallan a continuación los análisis físico-químicos realizados tanto en el estiércol fresco como en el granulado. El pH se determinó en extracto acuoso con una relación muestra:agua de 1:5 p/v. La conductividad eléctrica (C.E.) se midió en

extracto de saturación (Richards, 1954). El C, N y S totales se analizaron en muestras molidas mediante combustión seca con un autoanalizador LECO-2000. Los contenidos en N amoniacal (NH<sub>4</sub>-N), N nítrico (NO<sub>3</sub>-N), N ureico y N orgánico se determinaron mediante los métodos estándar de la AOAC (1970, 1980).

Los contenidos totales de P, K, Ca, Mg, Na, B, Fe, Mn y Mo se determinaron en extractos obtenidos tras la digestión de muestras tamizadas por 2 mm con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 33 % a 360 °C (Richards, 1954). El P se analizó mediante colorimetría del complejo azul fosfomolibdico (Chapman y Pratt, 1961), el B por el método de azometina-H (Wolf, 1974); y el K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn y Mo por espectrofotometría de emisión/absorción atómica.

Los contenidos en Cu, Co, Zn, Cd, Ni, Pb y Cr se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, en extractos obtenidos tras digestión con ácido nítrico al 70 % durante 30 minutos en un microondas Milestone Ethos 900 (Tessier et al., 1979). La calidad del procedimiento de digestión fue controlada mediante un análisis paralelo del material de referencia certificado BCR 144 R del BCR®.

Los análisis microbiológicos fueron realizados según Pascual y Calderón (2000) para determinar la presencia de estreptococos fecales, enterobacterias totales y *Salmonella*. La detección de residuos de antibióticos se llevó a cabo según Currie et al., (1998).

## 2.5. Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (en el caso de datos que seguían una distribución normal) o al análisis de Kruskal-Wallis y pruebas U de Mann-Mann-Whitney (para datos que no seguían una distribución normal). Se hicieron análisis de regresión lineal para investigar la posible utilidad del contenido en materia seca como predictor del contenido en nutrientes. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SPSS 17.0.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Características del estiércol fresco y del estiércol granulado

A continuación se consideran las características medias del estiércol fresco y del estiércol granulado; hay que resaltar que algunos parámetros mostraron variación temporal (es decir, entre los cuatro ciclos de producción), lo cual se considera en detalle más adelante.

En la tabla 2, se presentan las principales características del estiércol fresco producido en la explotación a lo largo de cuatro ciclos de producción. El contenido

medio de N total es alto (6,5 %), y la relación N:P:K es 3,8:1:1,6. La riqueza en N del estiércol de pollo se relaciona habitualmente con la alimentación del animal (Wood y Hall, 1991); en la explotación estudiada, podría justificarse por la cantidad de proteína bruta que los pollos recibían diariamente en la ración, que osciló entre un 22,6 % al comienzo de cada ciclo productivo y el 19,9 % en la fase de terminado.

Tabla 2

Características físicas, químicas y biológicas del estiércol fresco de pollo de engorde, mostrando los rangos y valores medios encontrados en estudios de investigación previos

| Parámetros                  | Media $\pm$ SD<br>(n = 12) | Rango<br>de valores | Fuente bibliográfica <sup>a</sup>  |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Humedad (%)                 | 26,0 $\pm$ 4,4             | 19,5-30,6           | 6,9,10,11,18,20                    |
| Cenizas (% m.s.)            | 18,0 $\pm$ 0,1             | 8,9 – 54,4          | 5,13,9,19                          |
| C. E. (dS m <sup>-1</sup> ) | 9,9 $\pm$ 2,4              | 6,3 – 12,6          | 9,10,20                            |
| pH (H <sub>2</sub> O)       | 8,5 $\pm$ 0,2              | 6,3 – 8,4           | 6,9,10,11,16,20                    |
| C orgánico (% m.s.)         | 38,2 $\pm$ 1,0             | 29,3 – 38,8         | 6,9,10,11,15,16,20                 |
| N total (% m.s.)            | 6,5 $\pm$ 0,7              | 2,6 – 5,3           | 1,2,3,6,7,8,9,10,11,12,15,16,20,21 |
| Relación C:N                | 6,0 $\pm$ 0,6              | 6,4 – 11,8          | 6,7,9,10,11,15,16,20               |
| N amoniacal (% m.s.)        | 0,5 $\pm$ 0,1              | 0,3 – 1,0           | 8,9,10,11,15,16,20,21              |
| N nítrico (% m.s.)          | 0,3 $\pm$ 0,04             | 0,005 – 0,100       | 9,10,11,15,20                      |
| N orgánico (% m.s.)         | 5,4 $\pm$ 0,6              | 0,3- 3,3            | 8,9,10                             |
| N ureico (% m.s.)           | 0,2 $\pm$ 0,04             | 0,7 – 1,1           | 9,10,16                            |
| P (% m.s.)                  | 1,7 $\pm$ 0,4              | 0,6 – 3,9           | 2,3,5,8,10,11,12,16,18,20,21,17,19 |
| K (% m.s.)                  | 2,8 $\pm$ 0,5              | 0,7 – 5,2           | 2,3,5,8,11,12,16,18,20,21,19       |
| Ca (% m.s.)                 | 2,0 $\pm$ 0,5              | 0,8 – 6,1           | 2,3,5,11,18,20,19                  |
| Mg (% m.s.)                 | 0,7 $\pm$ 0,1              | 0,2 – 0,9           | 2,3,4,5,11,16,18,20,19             |
| S (% m.s.)                  | 0,5 $\pm$ 0,04             | 0,2 – 0,8           | 16,18,20,19                        |
| Na (% m.s.)                 | 1,6 $\pm$ 0,6              | 0,7                 | 5,11                               |
| Fe (mg kg <sup>-1</sup> )   | 737,6 $\pm$ 217,1          | 529,0 – 2.982,0     | 1,3,5,12,18,19                     |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )   | 349,6 $\pm$ 39,4           | 125,0 – 667,0       | 3,5,11,18,20,19                    |
| B (mg kg <sup>-1</sup> )    | 20,1 $\pm$ 3,2             | 23,0 – 125,0        | 4,5,19                             |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )   | 71,3 $\pm$ 11,9            | 22,7 – 1003,0       | 3,5,11,18,20,19,14                 |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )   | 261,2 $\pm$ 18,9           | 54,0 – 680,0        | 2,3,5,11,12,18,20,19,14            |
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> )   | 1,5 $\pm$ 0,2              | 2,4                 | 5                                  |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> )   | < 0,1                      | 7,6 – 181,5         | 5,11                               |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> )   | < 0,1                      | 14,6- 55,0          | 5,11                               |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )   | 27,3 $\pm$ 5,3             | 8,5                 | 5                                  |
| <i>Salmonella</i> spp.      | 0                          | ausencia en 25 g    |                                    |
| Estreptococos fecales       | 72 E6                      | CFU g <sup>-1</sup> |                                    |
| Enterobacterias totales     | 10 E3                      | CFU g <sup>-1</sup> |                                    |

<sup>a</sup>1, Beegle (1997); 2, Brown et al. (1993); 3, Brown et al. (1994); 4, Cummis et al. (1993); 5, Edwards et al. (1995); 6, Ekinci et al. (2000); 7, Flynn y Wood (1996); 8, Fulhage y Pfost (1994); 9, Gordillo y Cabrera (1997a); 10, Gordillo y Cabrera (1997b); 11, Henry y White (1993); 12, Koon et al. (1992); 13, Kunkle et al. (1981); 14, Malone (1992); 15, Marshall et al. (1998); 16, Nicholson et al. (1996); 17, Payne y Donald (1991); 18, Smith y Chambers (1993); 19, Stephenson et al. (1990); 20, Wood et al. (1999); 21, Zublena et al. (1991)

El N orgánico fue la principal forma de nitrógeno encontrada (83 %), coincidiendo con los valores comunicados por Carballas (1996) para estiércoles frescos de pollo

recogidos en 20 explotaciones del noroeste de España. Debido a la baja relación C:N, este N orgánico se puede considerar como fácilmente mineralizable (Alexander, 1967). El N inorgánico estuvo principalmente representado por el N amoniacal, lo que también coincide con los resultados de Carballas (1996).

A pesar de los distintos factores de manejo, ambientales y fisiológicos que pueden influir en la composición del estiércol, el procedente de las aves estudiadas presentó en general características similares a las descritas por otros autores (tabla 2). Sin embargo, se encontraron niveles más altos de N total, N orgánico, N nítrico y Cr, mientras que los contenidos en B, Pb y sobre todo los de Cu y Ni fueron más bajos. El mayor contenido de Cr con respecto al descrito en este tipo de material habitualmente, es atribuible a la riqueza en este elemento que tiene la cascarilla de arroz que se utilizó como cama (tabla 1). Los bajos contenidos de B, Pb, Cu y Ni son probablemente atribuibles a la composición de la alimentación, particularmente en lo que concierne a sales de Cu, antibióticos y coccidiostáticos (Sims y Wolf, 1994).

En la tabla 3 se muestran las principales características del estiércol de pollo una vez deshidratado y granulado, y también los valores mínimos y/o máximos permitidos para cada parámetro según la legislación española actual para fertilizantes (B.O.E., 2005). El producto granulado tiene un alto contenido en N (5,2 % sobre peso seco, del cual el 80 % es N orgánico), así como un buen contenido de P y K. La relación N:P:K es 3,2:1:1,6. Al igual que en el estiércol fresco, la principal forma de N inorgánico fue el N amoniacal. La relación C:N del estiércol granulado fue baja, debido a la alta cantidad de N que contenía, un N en su mayoría orgánico que puede considerarse fácilmente mineralizable. Todas estas características indican que el estiércol deshidratado y granulado tiene un alto valor fertilizante, y de hecho el producto cumple todos los requisitos legislativos españoles vigentes para ser comercializado como un fertilizante orgánico (tabla 3). Al mismo tiempo, y según lo observado, el bajo contenido en humedad del producto granulado facilita enormemente su almacenamiento, transporte y aplicación mecanizada en el campo.

Los contenidos en metales pesados del estiércol peletizado estuvieron en todos los casos muy por debajo de los valores máximos permitidos por la legislación para la comercialización de abonos orgánicos (tabla 3). No se detectó presencia de *Salmonella*, ni de estreptococos fecales ni de enterobacterias; así mismo no se detectó ningún residuo de antibióticos. Además, aunque no se realizó ninguna prueba objetiva, fue evidente la disminución de malos olores en el estiércol granulado respecto al fresco. Estos resultados indican por tanto que el producto deshidratado y granulado es totalmente aceptable para su uso como fertilizante, en lo que concierne a riesgos de contaminación. Además, el producto cumple los requisitos legislativos españoles para ser comercializado como un abono orgánico que “contiene los oligoelementos Mo y Zn” (para cultivos hortícolas) y que “contiene los oligoelementos Fe, Mn, Cu, Mo y Zn” (para uso en pastos y cultivos extensivos) (tabla 3).

Tabla 3

Características físicas, químicas y biológicas del estiércol deshidratado y granulado de pollo de engorde, mostrando los criterios de la legislación española para su consideración como: a) fertilizante orgánico, b) "fertilizante orgánico con elementos secundarios específicos", c) "fertilizante orgánico sin oligoelementos específicos" (B.O.E., 2005). Los criterios no resueltos se indican en negrita

| Parámetros                 | Media ± SD<br>(n = 12) | a) Criterio:<br>fertilizante<br>orgánico (F.O.) | b) Criterio<br>adicional:<br>F.O. + elemento/s<br>secundario/s | c) Criterio adicional:<br>F.O. + oligoelemento/s<br>(p: pastos, h:<br>horticultura) |
|----------------------------|------------------------|---|--|---|
| Humedad (%)                | 10,1 ± 4,1             | < 35,0  |  |   |
| Cenizas (% m.s.)           | 18,5 ± 0,5             |   |  |   |
| C.E. (dS m <sup>-1</sup> ) | 11,1 ± 1,1             |   |  |   |
| pH (H <sub>2</sub> O)      | 7,9 ± 0,4              |   |  |   |
| C orgánico<br>(% m.s.)     | 36,8 ± 1,9             | > 17,4  |  |   |
| N total (% m.s.)           | 5,2 ± 1,0              |   |  |   |
| Relación C:N               | 7,3 ± 1,6              | 3 - 15  |  |   |
| N amoniacal (% m.s.)       | 0,5 ± 0,1              |   |  |   |
| N nítrico (% m.s.)         | 0,4 ± 0,05             |   |  |   |
| N orgánico (% m.s.)        | 4,2 ± 1,1              | > 2,0   |  |   |
| N ureico (% m.s.)          | 0,2 ± 0,04             |   |  |   |
| P (% m.s.)                 | 1,6 ± 0,3              | > 0,44  |  |   |
| K (% m.s.)                 | 2,6 ± 0,3              | > 0,83  |  |   |
| Ca (% m.s.)                | 1,9 ± 0,4              |   | > 2,1  |   |
| Mg (% m.s.)                | 0,6 ± 0,1              |   | > 1,2  |   |
| S (% m.s.)                 | 0,6 ± 0,01             |   | > 2,0  |   |
| Na (% m.s.)                | 1,2 ± 0,3              |   | > 2,2  |   |
| Fe (mg kg <sup>-1</sup> )  | 792,2 ± 135,9          |   |  | > 5000 (p),<br>> 200 (h)  |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )  | 187,0 ± 19,4           |   |  | > 1000 (p),<br>> 100 (h)  |
| B (mg kg <sup>-1</sup> )   | 13,9 ± 2,3             |   |  | > 100   |
| Mo (mg kg <sup>-1</sup> )  | 12,3 ± 3,5             |   |  | > 10  |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )  | 63,6 ± 4,3             | < 450   |  | > 100 (p),<br>> 20 (h)  |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )  | 259,8 ± 36,0           | < 1.100   |  | > 100 (p),<br>> 20 (h)  |
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> )  | < 0,02                 | < 3   |  |   |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> )  | < 0,1                  | < 120   |  |   |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> )  | 26,6 ± 2,7             | < 150   |  |   |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )  | 7,4 ± 2,4              | < 270   |  |   |
| <i>Salmonella</i> spp.     | 0                      | ausencia en 25 g                                |  |   |
| Estreptococos fecales      | 0                      | < 1,0x10 <sup>3</sup> MPN g <sup>-1</sup>       |  |   |
| Enterobacterias<br>totales | 0                      | < 1,0x10 <sup>2</sup> CFU g <sup>-1</sup>       |  |   |
| Antibióticos               | Negativo               |   |  |   |

### 3.2. Análisis de la variabilidad temporal

Una de las características de los estiércoles frescos que se observa frecuentemente es la gran variabilidad en su composición. Los factores que dan lugar a esta variabilidad son factores relacionados con las camadas (edad, raza, densidad de confinamiento), así como factores referentes a la alimentación, la cama y las pérdidas de nutrientes, especialmente N (ver la revisión de Edwards y Daniel 1.992). Se ha estudiado la variabilidad de las características tanto del estiércol fresco como del deshidratado y granulado entre los cuatro ciclos consecutivos de producción con el fin de comprobar su homogeneidad en el tiempo ya que se busca su comercialización.

La tabla 4 resume los resultados de este análisis. Los parámetros que no mostraron variabilidad significativa entre ciclos de producción, ni en el estiércol fresco ni en el granulado, fueron el contenido en cenizas, el C total, N orgánico, Ca, Mg, Mn, B, Ni, Zn y Cr. La relación C/N mostró, sin embargo, una variabilidad significativa en ambos productos. Hubo parámetros que mostraron variabilidad significativa en el estiércol fresco pero no en el granulado, como la materia seca, conductividad eléctrica, N ureico, K, S, Na, Fe, Cu y Cd. Así mismo, algunos parámetros demostraron variabilidad significativa solamente en el estiércol granulado y no en el fresco, como el pH, N total, N amoniacal, N nítrico y P total.

Tabla 4  
Variabilidad temporal (i.e. variabilidad entre los cuatro ciclos productivos) en el estiércol fresco de pollo de engorde y en el deshidratado y granulado.

| Categoría   | Parámetro                 | Valores de F ó $\chi^2$ estiércol fresco | Valores de F ó $\chi^2$ estiércol granulado |
|---|---------------------------|--|---|
| a) Sin variabilidad temporal en ninguno de los productos                              | Cenizas                   | F = 0,1 n.s.                             | $\chi^2 = 8,3$ n.s.                         |
|   | C total                   | $\chi^2 = 7,3$ n.s.                      | $\chi^2 = 8,9$ n.s.                         |
|   | N orgánico                | F = 4,0 n.s.                             | F = 6,1 n.s.                                |
|   | Ca                        | F = 5,7 n.s.                             | F = 0,1 n.s.                                |
|   | Mg                        | F = 4,8 n.s.                             | F = 5,2 n.s.                                |
|   | Mn                        | F = 9,3 n.s.                             | F = 3,3 n.s.                                |
|   | B                         | F = 1,1 n.s.                             | F = 3,0 n.s.                                |
|   | Ni                        | F = 6,1 n.s.                             | F = 2,1 n.s.                                |
|   | Zn                        | F = 4,9 n.s.                             | F = 2,8 n.s.                                |
|   | Cr                        | F = 3,3 n.s.                             | F = 10,3 n.s.                               |
|   | Pb                        | -  | F = 1,4 n.s.                                |
| b) Con variabilidad temporal en ambos productos                                       | Relación C:N              | F = 7,4 *                                | F = 11,5 *                                  |
| c) Variabilidad temporal significativa en el estiércol fresco pero no en el granulado | Contenido en materia seca | F = 208,9*                               | F = 9,5 n.s.                                |
|   | C. E.                     | F = 123,5*                               | F = 3,9 n.s.                                |
|   | N ureico                  | F = 90,4 *                               | F = 8,8 n.s.                                |
|   | K                         | F = 6,7 *                                | F = 3,3 n.s.                                |
|   | S                         | F = 79,8 *                               | F = 6,1 n.s.                                |
|   | Na                        | F = 27,8 *                               | F = 0,8 n.s.                                |
|   | Fe                        | F = 6,9 *                                | F = 0,4 n.s.                                |
|   | Cu                        | F = 8,9 *                                | F = 2,0 n.s.                                |
| Cd  | F = 9,0 *                 | F = 2,0 n.s.                             |   |
| d) Variabilidad temporal significativa en el estiércol granulado pero no en el fresco | pH                        | $\chi^2 = 9,8$ n.s.                      | F = 902,8 *                                 |
|   | N total                   | F = 5,1 n.s.                             | F = 8,3 *                                   |
|   | N amoniacal               | $\chi^2 = 6,4$ n.s.                      | F = 19,9 *                                  |
|   | N nítrico                 | $\chi^2 = 8,1$ n.s.                      | F = 27,1 *                                  |
|   | P                         | F = 4,8 n.s.                             | F = 7,2 *                                   |

Los parámetros se han agrupado en cuatro categorías: a) sin variabilidad temporal significativa en ninguno de los dos productos, b) con variabilidad significativa en ambos productos, c) con variabilidad significativa en el fresco pero no en el granulado, y d) con variabilidad significativa en el estiércol granulado pero no en el fresco. \* = variabilidad significativa ( $p < 0,01$ ); n.s. = no significativa

En comparación con estudios anteriores de otros autores (Stephenson et al., 1990; Edwards y Daniel, 1992; Nicholson et al., 1996), hay un gran número de parámetros que no mostraron variabilidad significativa en el estiércol fresco; sin embargo, estos estudios consideraban el estiércol obtenido de diversos ciclos y

diferentes explotaciones, mientras que, en el presente estudio, consideramos solamente el estiércol de una explotación, lo que hace que la variabilidad sea menor.

Según lo observado, el proceso de deshidratación y granulación redujo la variabilidad en nueve parámetros; sin embargo, aumentó la variabilidad en cinco de ellos (pH, N total, N amoniacal, N nítrico y P total). Esto es quizás atribuible a la variabilidad en la temperatura aplicada durante el proceso de deshidratación, que debería ser siempre homogénea si se pretende conseguir un fertilizante de composición estable en el tiempo. La temperatura del proceso de deshidratación es con casi toda probabilidad la causante de que el nitrógeno varíe, puesto que la volatilización de N en forma de  $\text{NH}_3$  aumenta exponencialmente con la temperatura (Wood y Hall, 1991).

### 3.3. Efecto del proceso de deshidratación y granulación en la composición

En la tabla 5 se presenta el análisis de las diferencias de composición entre el estiércol fresco y el producto final granulado.

Tabla 5

Diferencias en las propiedades físicas y químicas entre el estiércol fresco de pollo y el estiércol deshidratado y granulado, mostrando a) valores F ó U para la comparación entre productos, y b) la diferencia entre las medias (ejemplo: el contenido medio de cenizas en el producto granulado fue 0,5 unidades más alta que en el producto fresco)

| Categoría                   | Parámetro                 | a) Valores de F ó U       | b) Granulado vs. Fresco (diferencia entre medias) |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| Sin variabilidad temporal   | Cenizas (% m.s.)          | F = 1,8 n.s.              | + 0,5   |
|                             | C orgánico (% m.s.)       | U = 27,0 *                | - 1,4   |
|                             | N total (% m.s.)          | F = 13,9 *                | -1,3  |
|                             | Ca (% m.s.)               | F = 0,4 n.s.              | -0,1  |
|                             | Mg (% m.s.)               | F = 2,0 n.s.              | -0,1  |
|                             | Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) | U = 6,0 *                 | -162,6  |
|                             | B (mg kg <sup>-1</sup> )  | F = 29,2 *                | -6,2  |
|                             | Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) | F = 0,2 n.s.              | -1,4  |
|                             | Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) | -                         | +26,6   |
|                             | Con variabilidad temporal | Materia seca (% m.s.)     | Fmín = 777,2 * (3 cicc)                           |
| pH                          |                           | Fmín = 1.008,2 * (2 cicc) | -0,6  |
| C. E. (dS m <sup>-1</sup> ) |                           | Fmáx = 12,7 n.s.          | +1,2  |
| Relación C:N                |                           | Fmáx = 15,7 n.s.          | +1,3  |
| N orgánico (% m.s.)         |                           | Fmáx = 13,8 n.s.          | -1,2  |
| N amoniacal (% m.s.)        |                           | Fmáx = 5,1 n.s.           | 0,0   |
| N nítrico (% m.s.)          |                           | Fmáx = 10,3 n.s.          | +0,1  |
| N ureico (% m.s.)           |                           | Fmáx = 6,3 n.s.           | 0,0   |
| P (% m.s.)                  |                           | Fmáx = 1,8 n.s.           | -0,1  |
| K (% m.s.)                  |                           | Fmáx = 16,6 n.s.          | -0,2  |
| S (% m.s.)                  |                           | Fmín = 70,6 * (4 cicc)    | +0,1  |
| Na (% m.s.)                 |                           | Fmáx = 8,2 n.s.           | -0,4  |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )   |                           | Fmín = 25,3 * (2 cicc)    | -7,7  |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )   |                           | Fmín = 32,0 * (2 cic)     | -19,9   |
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> )   |                           | Fmín = 174,0 * (3 cicc)   | - 1,5   |

Para los parámetros que no mostraron variabilidad temporal (ver tabla 4), se compararon los dos productos considerando las muestras obtenidas en los diferentes cuatro ciclos (cic) simplemente como réplicas (n=12); para parámetros que mostraron variabilidad temporal, las comparaciones se hicieron ciclo a ciclo (n = 3 en cada caso), y se definió una diferencia significativa general entre el producto fresco y el granulado cuando se detectaron diferencias significativas en dos o más de los cuatro ciclos; para estos últimos parámetros, el valor mostrado es el valor máximo de F para las comparaciones no significativas, o el valor mínimo de F para las comparaciones significativas, indicando el número de valores significativos individuales entre paréntesis. \* = diferencia significativa ( $p < 0,01$ ); n.s. = no significativa

El proceso de deshidratación y granulación disminuyó en más de un 60 % el contenido en humedad del estiércol, que pasó del 26,1 % en el producto fresco al 10,1 % en el granulado. La reducción de la humedad del estiércol, y la consiguiente reducción del volumen del producto final, junto con la granulación, facilitan enormemente su almacenamiento, transporte y aplicación. En cambio, el almacenaje y la aplicación de estiércoles frescos da lugar típicamente a problemas ambientales diversos, incluyendo la emisión de N a la atmósfera y la lixiviación a aguas subterráneas (Sims y Wolf, 1994).

La deshidratación y granulación dio lugar además a una reducción significativa del C total y sobre todo del N total, aunque la relación C:N no se vio afectada. En promedio, el estiércol granulado presentó un 4 % menos de C total y un 20 % menos de N total que el estiércol fresco. Estas pérdidas de C y N son consecuencia de la alta temperatura (250 °C) a la que fue sometido el estiércol fresco. Wood y Hall (1991) detectaron también una pérdida de C total en estiércol fresco de pollo después de someterlo a temperaturas de 40-60 °C, mucho más bajas que las aplicadas en el presente estudio. En el caso del N total, como ya se ha comentado, es bien conocido que las pérdidas se incrementan con el aumento de la temperatura de deshidratación principalmente debido a la volatilización de NH<sub>3</sub> (Gale et al., 1.991; Wood y Hall, 1.991). Sin embargo, no se encontraron diferencias en los contenidos de N amoniacal, N nítrico y N ureico entre el estiércol fresco y el granulado.

El pH del estiércol granulado (media de 7,9) siguió siendo básico pero fue significativamente más bajo que el del estiércol fresco (media de 8,5). Se sabe que la oxidación de la materia orgánica es un proceso acidificante (McBride, 1994). La disminución del pH observada fue posiblemente debida a la liberación de H<sup>+</sup>, que estaban asociados a aniones orgánicos, durante el proceso de deshidratación y granulación. En cualquier caso, la alcalinidad del estiércol granulado lo hace especialmente indicado para su aplicación en suelos ácidos.

Wood y Hall (1991) encontraron que los contenidos en P, K, Cu, Fe y Zn del estiércol fresco de pollo no se veían afectados por la aplicación de temperaturas de deshidratación de hasta 60 °C. Henry y White (1993) constataron un aumento en el contenido de varios elementos tras el compostaje de estiércol fresco, que atribuyeron simplemente a la pérdida de masa. En contraste, en el presente trabajo, se observó que la temperatura de deshidratación de 250 °C condujo a pérdidas significativas de B, Mn, Cu y Cr en el estiércol final granulado respecto al estiércol fresco, junto con un aumento en el contenido de Pb (tabla 5). Esto último puede ser atribuible a contaminación procedente de componentes de la maquinaria empleada en el proceso de deshidratación y granulación, o simplemente al efecto de concentración.

A pesar de la gran variabilidad en la composición de las raciones utilizadas en explotaciones avícolas, Nicholson et al. (1996) han sugerido que el contenido en materia seca del estiércol es un buen indicador de los contenidos totales en N, P, K, Mg y S, expresados en base a peso fresco. Los resultados de la regresión lineal entre

estos mismos parámetros y el contenido en materia seca, tanto del estiércol fresco como del granulado, se presentan en la tabla 6. El contenido en materia seca del producto granulado fue un buen predictor de los distintos contenidos de nitrógeno analizados (N total, N orgánico, N amoniacal, N nítrico y N ureico), pero no de otros parámetros. Esto sugiere que, determinando simplemente el contenido en materia seca del estiércol granulado, puede estimarse de forma eficaz el contenido en N total que posee. Esto puede resultar especialmente útil para la realización de controles rápidos de calidad durante la deshidratación y granulación de las distintas partidas de abono.

Tabla 6  
Resultados de la regresión lineal con el contenido de material seca (m.s.) como posible variable predecible y las propiedades químicas como variables dependientes. Todos los análisis fueron realizados con n = 12 (3 réplicas x 4 ciclos)

| <b>Estiércol</b> | <b>Ecuación de la regresión<br/>(n = 12)</b>  | <b>r<sup>2</sup></b> | <b>Valor de F</b> | <b>Valor de p</b> |
|------------------|---|----------------------|-------------------|-------------------|
| Fresco           | N total = $-5,37 \times 10^{-3}$ M.S. + 6,89  | 0,00                 | 0,01              | 0,940             |
| Granulado        | N total = $-0,22 \times$ M.S. + 24,37         | 0,64                 | 18,01             | 0,002             |
| Fresco           | N-org = $-2,8 \times 10^{-2}$ M.S. + 7,49     | 0,04                 | 0,37              | 0,560             |
| Granulado        | N-org = $-0,18 \times$ M.S. + 20,49           | 0,60                 | 14,94             | 0,003             |
| Fresco           | N-amonio = $1,20 \times 10^{-2}$ M.S. - 0,40  | 0,23                 | 2,91              | 0,119             |
| Granulado        | N-amonio = $-1,40 \times 10^{-2}$ M.S. + 1,71 | 0,62                 | 16,58             | 0,002             |
| Fresco           | N-urea = $5,97 \times 10^{-3}$ M.S. - 0,23    | 0,46                 | 8,40              | 0,016             |
| Granulado        | N-urea = $-8,5 \times 10^{-3}$ M.S. + 0,97    | 0,68                 | 21,41             | 0,001             |
| Fresco           | N-nitr = $1,35 \times 10^{-3}$ M.S. + 0,02    | 0,22                 | 2,73              | 0,129             |
| Granulado        | N-nitr = $-9,33 \times 10^{-3}$ M.S. + 1,19   | 0,69                 | 22,19             | 0,001             |
| Fresco           | P total = $-3,71 \times 10^{-2}$ M.S. + 4,40  | 0,18                 | 2,20              | 0,171             |
| Granulado        | P total = $-1,40 \times 10^{-2}$ M.S. + 2,86  | 0,04                 | 0,41              | 0,539             |
| Fresco           | K = $5,75 \times 10^{-2}$ M.S. - 1,47         | 0,24                 | 3,11              | 0,108             |
| Granulado        | K = $-8,33 \times 10^{-2}$ M.S. + 10,01       | 0,29                 | 4,16              | 0,069             |
| Fresco           | Mg = $1,35 \times 10^{-2}$ M.S. - 0,32        | 0,35                 | 5,34              | 0,043             |
| Granulado        | Mg = $-8,5 \times 10^{-3}$ M.S. + 1,38        | 0,11                 | 1,18              | 0,303             |
| Fresco           | S = $-5,10 \times 10^{-3}$ M.S. + 0,85        | 0,26                 | 3,48              | 0,092             |
| Granulado        | S = $1,53 \times 10^{-3}$ M.S. + 0,44         | 0,20                 | 2,50              | 0,145             |

#### 4. Conclusión

El estiércol deshidratado y granulado de pollo tiene unas características nutritivas más estables que las del estiércol fresco. Su contenido en N se puede estimar a partir del contenido de materia seca. No contiene bacterias fecales ni restos de antibióticos y no desprende mal olor. Desde un punto de vista práctico, el proceso de deshidratación y granulación facilita el almacenamiento, transporte y aplicación en campo del estiércol producido en explotaciones de pollos de engorde, y puede facilitar también la incorporación de otros componentes en el producto final, incluyendo por ejemplo elementos minerales, herbicidas o inhibidores de la nitrificación.

#### 5. Referencias bibliográficas

- Adeli, A.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Tewolde, H. 2005. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. *Agron. J.* 97: 314-321.
- Alexander, M. 1967. *Introduction to Soil Microbiology*. John Wiley, New York.
- AOAC. 1970. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Nº 2051, 2.052. Washington, DC.
- AOAC. 1980. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. pp: 17-2066.
- AVEC. 2011. *Association of Poultry Processors and Poultry Trade in the EU countries. Informe Anual de 2011 (en línea)*. Bruselas: AVEC. Disponible en: <http://www.avec-poultry.eu/>. Último acceso: 13/07/2012.
- Beegle, D. 1997. Estimating manure application rates. *Agron. Facts*. 55: 8.
- B.O.E. (Boletín Oficial del Estado). 2005. Real decreto 824, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Brown, J.E.; Gilliam, C.H.; Shumack, R.L.; Porch, D.W. 1993. Commercial snap bean response to fertilization with broiler litter. *HortScience*. 28(1): 29-31.
- Brown, J.E.; Dangler, J.M.; Gilliam, C.H.; Porch, D.W.; Shumack, R.L. 1994. Comparison of broiler litter and inorganic nitrogen, phosphorus and potassium for double-cropped sweet corn and broccoli. *J. Plant Nutr.* 17 (5): 859-867.
- Brown, J.E.; Gilliam, C.H.; Shumack, R.L.; Porch, D.W.; Donald, J.O. 1995. Comparison of broiler litter and commercial fertilizer on production of tomato, *Lycopersicon esculentum*. *J. Veg. Crop Prod.* 1(1): 53-62.

- Carballas, M.T. 1996. Caracterización de los residuos ganaderos. En: Peña, F.J. (Coord.), Residuos ganaderos y medio ambiente. Fundación Semana Verde de Galicia, Silleda. pp: 17-30.
- Chapman, H.D.; Pratt, P.F., Eds. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences Bulletin 4034.
- Collins, E. 1996. Poultry Litter Management and Carcass Disposal. Fact Sheet Nº 10. Virginia Cooperative Extension. Disponible en <http://www.ext.vt.edu/pubs/farmasyst/442-910/442-910.html>. Último acceso: 08/01/2007.
- Cummis, C.G.; Wood, C.W.; Delaney, D.P. 1993. Co-composted poultry mortalities and poultry litter: composition and potencial value as a fertilizer. J. Sustain. Agri. 4(1): 7-19.
- Currie, D.; Lynas, L.; Kennedy, D.G.; McCaughey, W.J. 1998. Evaluation of a modified EC Four Plate Method to detect antimicrobial drugs. Food Addit. Contam. 15(6): 651-660.
- Edwards, D.R.; Daniel, T.C. 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal-A Review. Bioresour. Technol. 41: 9-33.
- Edwards, J.H.; Burt, C.E.; Raper, R.L.; Walker, H.R. 1995. Issues affecting application of non-composted organic waste to agricultural land. En: Karlen D.L., Wright R.J., Kemper W.O. (Eds.), Agricultural Utilization of Urban and Industrial By-products. ASA Special Publication nº 58, ASA, Madison, Wisconsin. pp: 225-249.
- Ekinci, K.; Keener, H.M.; Elwell, D.L. 2000. Composting short paper fiber with broiler litter and additives. Part I: Effects of inicial pH and carbon/nitrogen ratio on ammonia emission. Compost Sci. Util. 8(2): 160-172.
- Endale, D.M.; Schomberg, H.H.; Fisher, D.S.; Jenkins, M.B., R.R. Sharpe, R.R.; Cabrera, M.L. 2008. No-till corn productivity in a southeastern United States Ultisol amended with poultry litter. Agron. J. 100: 1401-1408.
- Evers, G.W. 1998. Comparison of broiler poultry litter and commercial fertilizer for coastal bermudagrass production in the Southeastern US. J. Sustain. Agric. 12: 55-77.
- FAOSTAT. 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>. Último acceso: 13/07/2012.
- Flynn, P.R.; Wood, C.W. 1996. Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. Compost Sci. Util. 4(3): 62-70.

- Fulhage, C.D.; Pfof, D.L. 1994. Spreading poultry litter with lab analysis but without soil tests. Water Quality Initiative Publication WQ221. 15. pp: 10.
- Gale, P.M.; Phillips, J.M.; May, M.L.; Wolf, B.C. 1991. Effect of drying on the plant nutrient content of hen manure. *J. Prod. Agric.* 4: 246-250.
- Gordillo, R.M.; Cabrera, M.L. 1997a. Mineralizable nitrogen in broiler litter: I. Effect of selected litter chemical characteristics. *J. Environ. Qual.* 26(6): 1672-1679.
- Gordillo, R.M.; Cabrera, M.L. 1997b. Mineralizable nitrogen in broiler litter: II. Effect of selected soil characteristics. *J. Environ. Qual.* 26 (6): 1679-1686.
- Henry, S.T.; White, R.K., 1993. Composting broiler litter from two management systems. *Trans. ASAE.* 36(3): 873-877.
- John, N.M.; Adeoye, G.O.; Sridhar, M.K.C. 1996. Compost pelletization eases end use in Nigeria. *Biocycle.* 37(6): 55-56.
- Kingery, W.L.; Wood, C.W.; Delaney, D.P.; Williams, J.C.; Mullins, G.L.; van Santen, E. 1993. Implications of long-term application of poultry litter on tall fescue pastures. *J. Prod. Agric.* 6(3): 390-395.
- Koon, L.J.; Flood, C.A.; Trumbull, R.D.; McCaskey, T.A.; Brewer, R.N. 1992. Physical and chemical characteristics of pine shavings poultry litter. *Trans. ASAE.* 35(5): 1653-1657.
- Kunkle, W.E.; Carr, L.E.; Carter, T.A.; Bossard, E.H. 1981. Effect of flock and floor type on the levels of nutrients and heavy metals in broiler litter. *Poultry Sci.* 60: 1160-1164.
- MAFF. 1992. Code of Good Agricultural Practice for the Protection of Air. MAFF Publications, London.
- Malone, G.W. 1992. Nutrient enrichment in integrated broiler production systems. *Poultry Sci.* 71: 1117-1122.
- Marshall, S.B.; Wood, C.W.; Braun, L.C.; Mullen, M.D.; Guertal, E.A. 1998. Ammonia volatilization from tall fescue pastures fertilized with broiler litter. *J. Environ. Qual.* 27(5): 1125-1129.
- McBride, M.B., 1994. *Environmental Chemistry of Soil.* Oxford University Press, Oxford.
- Mondini, C.; Chiumenti, R.; da Borso, F.; Leita, L.; De Nobili, M. 1996. Changes during processing in the organic matter of composted and air-dried poultry manure. *Bioresour. Technol.* 55: 243-249.

- Moss, B.R.; Reeves, D.W.; Lin, J.C.; Torbert, H.A.; McElhenney, W.H.; Mask, P.; Kezar, W. 2001. Yield and quality of three corn hybrids as affected by broiler litter fertilization and crop maturity. *Anim. Feed Sci. Tech.* 94: 43-56.
- Nicholson, F.A.; Chambers, B.J.; Smith, K.A. 1996. Nutrient composition of poultry manures in England and Wales. *Bioresour. Technol.* 58: 279-284.
- Nicholson, F.A.; Chamber, B.J.; Smith, K.A.; Harrison, R. 1999. Spring applied organic manures as a source of nitrogen for cereal crops: experimens using field scale equipment. *J. Agric. Res. Cambridge.* 133: 353-363.
- Pain, B.F.; van der Weerden, T.J.; Jarvis, S.C.; Chambers, B.J.; Smith, K.A.; Demmers, T.G.M.; Phillips, V.R. 1996. Ammonia emission inventory for agriculture in the UK. Report to MAFF, UK (OC CSA 2141).
- Pascual, M.R.; Calderón, V. 2000. *Microbiología alimentaria: metodología analítica para alimentos y bebidas.* Ed. Díaz de Santos, Madrid. Monografía. pp: 464.
- Patterson, P.H.; E.S. Lorenz, E.S.; Weaver, Jr.W.D. 1998. Litter production and nutrients from commercial broiler chickens. *J. Appl. Poultry Res.* 7: 247–252.
- Payne, V.W.E.; Donald, J.O. 1991. *Poultry-waste management and environmental protection manual.* Alabama Cooperative Extension Service, Circular ANR-580, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Richards, L.A. (Ed.) 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* US Salinity Lab., US Departament of Agriculture Handbook 60. California, USA.
- Rubeiz, J.G.; Khansa, M.; Freiwat, M.M. 1998. Evaluation of layer litter rates as a fertilizer for greenhouse strawberry and lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(1 y 2): 161-167.
- Smith, K.A.; Chambers, B.J. 1993. Utilizing the nitrogen content of organic manures on frams-problems and practical solutions. *Soil Use Manage.* 9(3): 105-112.
- Sims, J.T.; Wolf, D.C. 1994. Poultry waste management:agricultural and environmental issues. *Adv. Agron.* 52:1-83.
- Sims, J.T.; Bergström, L.; Bowman, B.T.; Oenema, O. 2005. Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. *Soil Use Manag.* 21. pp: 141-151.
- Sistani, K.; Adeli, A.; Tewolde, H.; Brink, G. 2008a. Broiler chicken litter application timing effect on Coastal bermudagrass in southeastern U.S. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 81: 49-57.
- Sistani, K.R.; Sikora, F.J.;Rasnake, M. 2008b. Poultry litter and tillage influences on corn production and soil nutrients in a Kentucky silt loam soil. *Soil Tillage Res.* 98: 130-139.

- Stephenson, A.H.; McCaskey, T.A.; Ruffin, B.G. 1990. A survey of broiler litter composition and potential value as a nutrient resource. *Biol. Wastes*. 34: 1-9.
- Sweeten, J.M., 1.988. Composting manure and sludge. L-2289, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, Texas. pp: 4.
- Tessier, A.; Campbell, P.G.C.; Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51(7): 844-851.
- Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Adeli, A.; Johnson, J.R. 2007. Lint yield and fiber quality of cotton fertilized with broiler litter. *Agron. J.* 99: 184-194.
- Wolf, B. 1974. Improvements in the azometine-H method for the determination of boron. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 5: 39-44.
- Wood, C.W.; Hall, B.M. 1991. Impact of drying method on broiler litter analyses. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22(15-16): 1677-1678.
- Wood, B.H.; Wood, C.W.; Yoo, K.H.; Delaney, D.P. 1999. Seasonal surface runoff losses of nutrients and metals from soils fertilized with broiler litter and commercial fertilizer. *J. Environ. Qual.* 28(4): 1210-1218.
- Zublana, J.P.; Barker, J.C.; Carter, T.A. 1991. Soilfacts. Poultry manure as a fertilizer source. AG439-5, North Carolina Cooperative Extension Service, Raleigh, North Carolina.



**Potencial fertilizante inmediato y residual del estiércol deshidratado y granulado de pollo en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

## Potencial fertilizante inmediato y residual del estiércol deshidratado y granulado de pollo en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

---

### Resumen

El estiércol deshidratado y granulado de pollo BIOF-1, es un abono orgánico higienizado, rico en nutrientes que libera gradualmente, fácil de aplicar y almacenar y con una composición más estable que la “gallinaza fresca”. Por estos motivos podría constituir un abono interesante para utilizar en cultivos intensivos en invernadero como la lechuga, hortícola que absorbe aproximadamente el 80 % del N en las últimas cuatro semanas de su ciclo.

En este capítulo se evaluó el potencial fertilizante del BIOF-1 en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en invernadero, en comparación con fertilización mineral. Se establecieron dos ensayos, uno en el periodo otoño-invierno, y otro en primavera. Se aplicaron distintos tratamientos fertilizantes en parcelas no fertilizadas, fertilizadas con abonos minerales (nitrato amónico y/o Nitrofoska Stábil), y con dosis crecientes de BIOF-1 para aportar las exigencias de N de la lechuga. El abono se incorporó al comienzo de ambos ensayos, en una sola aplicación, lo que permitió estudiar el efecto residual en una segunda cosecha para ambas épocas.

En los dos ensayos, de otoño-invierno y de primavera, la fertilización con BIOF-1, a cualquiera de las dosis aplicadas, garantizó la producción del cultivo de lechuga, tanto en peso fresco, como en número de lechugas comerciales, del mismo modo o incluso superior al abonado mineral, indicando una buena disponibilidad a corto plazo de los nutrientes de este abono orgánico. Además, el BIOF-1 tuvo un efecto residual claro que permitió obtener segundas cosechas comerciales sin fertilizar de nuevo. Para disminuir gastos en fertilizante y mano de obra, y con ello obtener dos cosechas comerciales de lechuga consecutivas, indistintamente de la época del año en que se cultiven se recomienda utilizar dosis de 532,0-634,7 g m<sup>-2</sup> (120 kg N ha<sup>-1</sup>) aplicadas con BIOF-1.

**Palabras clave:** efecto residual, estiércol de pollo, potencial fertilizante, *Lactuca sativa* L., rendimiento del cultivo

## 1. Introducción

---

El ganado vacuno (tanto de leche como de carne) lidera la producción ganadera en la Europa de los 27, seguido por el porcino y las aves. El número de animales de vacuno de leche ha ido disminuyendo desde 1984, tras la implementación de la cuota láctea, pero el número de cerdos y aves ha aumentado en más de un 60 % en los últimos 25 años (FAOSTAT, 2012). Esta intensificación de la producción ganadera ha originado un incremento en la cantidad de estiércol y purines, que exigen estrategias de manejo y gestión que minimicen su impacto ambiental. En 2003, se produjeron en España 42.085 miles de toneladas de estiércol de bovino, 25.242 de porcino y 7.695 de aves (MAGRAMA, 2005). El principal destino de estos estiércoles ha sido, y sigue siendo, la aplicación en campo con fines agrícolas siendo utilizados fundamentalmente como enmiendas y abonos orgánicos.

La gestión del estiércol en las granjas de pollos de engorde (*Gallus gallus domesticus*) presenta dificultades de almacenamiento ya que, debido a los cortos ciclos de producción animal, se genera estiércol a lo largo de todo el año, mientras que la fertilización de los cultivos se realiza fundamentalmente en primavera y otoño, por lo que este material puede permanecer acumulado durante periodos prolongados en la explotación. Durante su almacenamiento se producen pérdidas de N y de K por lixiviación y volatilización de N en forma amoniacal hacia la atmósfera (Carballas, 1996; Beegle y Bosworth, 1997).

El estiércol de pollo de engorde se considera un buen fertilizante, ya que es capaz de suministrar los macronutrientes (N, P y K) que necesitan las plantas (Jackson et al., 2003; Tewolde et al., 2005a; Tewolde et al., 2005b) de forma rápida en una primera cosecha (Brown et al., 1994; El Nadi et al., 1995). A diferencia de los abonos minerales, el estiércol de pollo libera gradualmente nutrientes después del primer año de aplicación, es decir tiene un efecto residual que puede mantener en el tiempo la producción de los cultivos (Eghball et al., 2002). Además, aumenta el contenido en carbono del suelo (Sistani et al., 2004; Roberson et al., 2008) mejorando así sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Acea y Carballas, 1996; Brye et al., 2004; Gascho y Hubbard, 2006; Adeli et al., 2007; Pratt y Tewolde, 2009) e incrementando, por tanto, el rendimiento de los cultivos (Adeli et al., 2005; Tewolde et al., 2007).

El empleo de tecnologías de deshidratación y granulación que se utilizan para el acondicionamiento de otros residuos orgánicos (Akers et al., 1975; Koerner et al., 2003) constituye una herramienta muy interesante para minimizar los aspectos negativos de la gestión y manejo de los estiércoles frescos de pollo. Como se demuestra en el capítulo I de esta memoria, el estiércol deshidratado y granulado de pollo tiene unas características nutritivas más estables que el estiércol fresco y no contiene microorganismos patógenos. Además, desde un punto de vista práctico, el proceso de deshidratado y granulado facilita su almacenamiento, transporte y aplicación en campo (John et al., 1996; Koerner et al., 2003).

Las características del estiércol de pollo lo hacen especialmente adecuado para su aplicación en cultivos intensivos. En estos sistemas de cultivo se requieren abonos orgánicos de calidad, entendiéndose por ello que aporten los nutrientes necesarios para el cultivo de forma gradual, sin riesgo de que introduzcan patógenos, semillas de malas hierbas, o incrementen el nivel de elementos potencialmente tóxicos (metales y/o sales).

En 2010, la superficie cultivada de lechuga en España fue de 31.256 ha, localizadas principalmente en regadío al aire libre en la Región de Murcia (13.309 ha) y en Andalucía (10.321 ha) (MAGRAMA, 2011), zonas donde la intensificación de la agricultura está determinando un deterioro de las propiedades físicas del suelo, sobre todo de la estructura (Naredo, 2001), problema que los agricultores tratan de remediar con el aporte de materia orgánica.

La lechuga, al igual que otros cultivos aprovechables por sus hojas, precisan de un gran aporte de nitrógeno, acentuándose las necesidades de éste en la parte final de su ciclo (De Pinheiro y Marcelis, 2000; Broadley et al., 2003) correspondiendo con el inicio del acogollado. En esta etapa, la lechuga absorbe alrededor del 60-65 % de todos los nutrientes. Esto pone de manifiesto la importancia del empleo de fertilizantes de liberación lenta, como puede ser el BIOF-1.

El objetivo de este capítulo fue estudiar los efectos de diferentes dosis del estiércol deshidratado y granulado de pollo BIOF-1 sobre la producción de lechuga en invernadero en dos épocas de cultivo diferenciadas, tanto en primavera como en otoño-invierno, en comparación con el abonado mineral convencional. También se evaluó el efecto fertilizante residual de este abono en cada época de cultivo en una segunda cosecha sin fertilizar.

## 2. Material y métodos

Se llevaron a cabo dos ensayos en invernadero para estudiar la producción de lechugas tras la aplicación de estiércol deshidratado y granulado de pollo en suelo. En el primer ensayo de otoño-invierno, se establecieron y cosecharon dos cultivos sucesivos de lechuga y, en el segundo en la temporada de primavera, nuevamente otros dos cultivos consecutivos de lechuga.

### 2.1. Localización de los ensayos

Se utilizó un invernadero de 304 m<sup>2</sup>, de paredes rectas y techo curvo, recubierto de polietileno térmico de 800 galgas de espesor (figura 1), situado en una finca del Campus Universitario de Lugo de la Universidad de Santiago de Compostela (coordenadas geográficas 42º 59´ 37,04” N 70º 32´ 42,77” O).



Figura 1  
Vista del invernadero

El suelo del invernadero era un Umbrisol húmico (WRB, 2007), desarrollado sobre esquistos de la serie Alba-Vilalba. En la tabla 1 se presentan las características iniciales del suelo de cultivo: pH ligeramente ácido (6,35), adecuado contenido en M.O. (6,03 %), alta relación C/N (16,51), elevados niveles de P y K disponibles (106,4 mg kg<sup>-1</sup> y 292,5 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente), bajo nivel de sales y de metales.

Tabla 1  
Características iniciales del suelo de cultivo

|   |       |
|---|-------|
| pH H <sub>2</sub> O   | 6,3   |
| pH KCl  | 5,7   |
| M.O. (%)  | 6,0   |
| N <sub>T</sub> (%)  | 0,2   |
| C/N   | 16,5  |
| P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )   | 106,4 |
| K disponible (mg kg <sup>-1</sup> )   | 292,5 |
| Cationes de cambio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )                    |       |
| Ca <sup>+2</sup>  | 6,5   |
| Mg <sup>+2</sup>  | 0,9   |
| Na <sup>+</sup>   | 0,2   |
| K <sup>+</sup>  | 0,7   |
| Al <sup>+3</sup>  | n.d.  |
| C.E. <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> )                                     | 0,8   |
| Cationes y aniones solubles en extracto de saturación (mg L <sup>-1</sup> ) |       |
| K <sup>+</sup>  | 29,3  |
| Ca <sup>++</sup>  | 133,5 |
| Mg <sup>++</sup>  | 11,4  |
| Na <sup>+</sup>   | 5,7   |
| Cl <sup>-</sup>   | 7,3   |
| NO <sup>3-</sup>  | 9,5   |
| Metales totales (mg kg <sup>-1</sup> )                                      |       |
| Cd  | n.d.  |
| Cr  | 55,0  |
| Cu  | 24,7  |
| Ni  | 21,8  |
| Pb  | 23,2  |
| Zn  | 104,8 |

n.d.: no detectado; CEe: conductividad eléctrica en el extracto de saturación

## 2.2. Ensayo de producción de lechuga en otoño-invierno

Se llevaron a cabo dos ciclos de cultivo de lechuga: el primero (ciclo I) entre el 10 de octubre y el 27 de noviembre de 2001 y el segundo (ciclo II) entre el 28 de diciembre de 2001 y el 27 de febrero de 2002 (figura 2). El objetivo del ciclo II fue estudiar el efecto residual de los tratamientos de abonado aplicados en el ciclo I.



Figura 2  
Calendario de los cultivos de otoño-invierno

En el suelo del invernadero se establecieron 18 bancales de  $6 \times 1 \text{ m}^2$  y 0,3 m de altura, separados por pasillos de 50 cm, donde se aplicaron al azar seis tratamientos fertilizantes con 3 réplicas por tratamiento (figura 3): control no abonado (C), aplicación de  $58,5 \text{ g m}^{-2}$  de nitrato amónico (20,5 % de N) para suministrar  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  (M), y aplicación de 4 dosis del producto comercial de estiércol de pollo BIOF-1 (B1:  $266,7$ , B2:  $366,7$ , B3:  $532,0$  y B4:  $1064,0 \text{ g m}^{-2}$ ) para proporcionar respectivamente 60, 80, 120 y  $240 \text{ kg N ha}^{-1}$  (B1, B2, B3 y B4), teniendo en cuenta que el porcentaje de mineralización en los estiércoles de pollo es próximo al 60 % (Evers, 1999; Kissel et al., 2008) y que la riqueza de la partida del BIOF-1 utilizada contenía un 4,2 % de N (tabla 2).

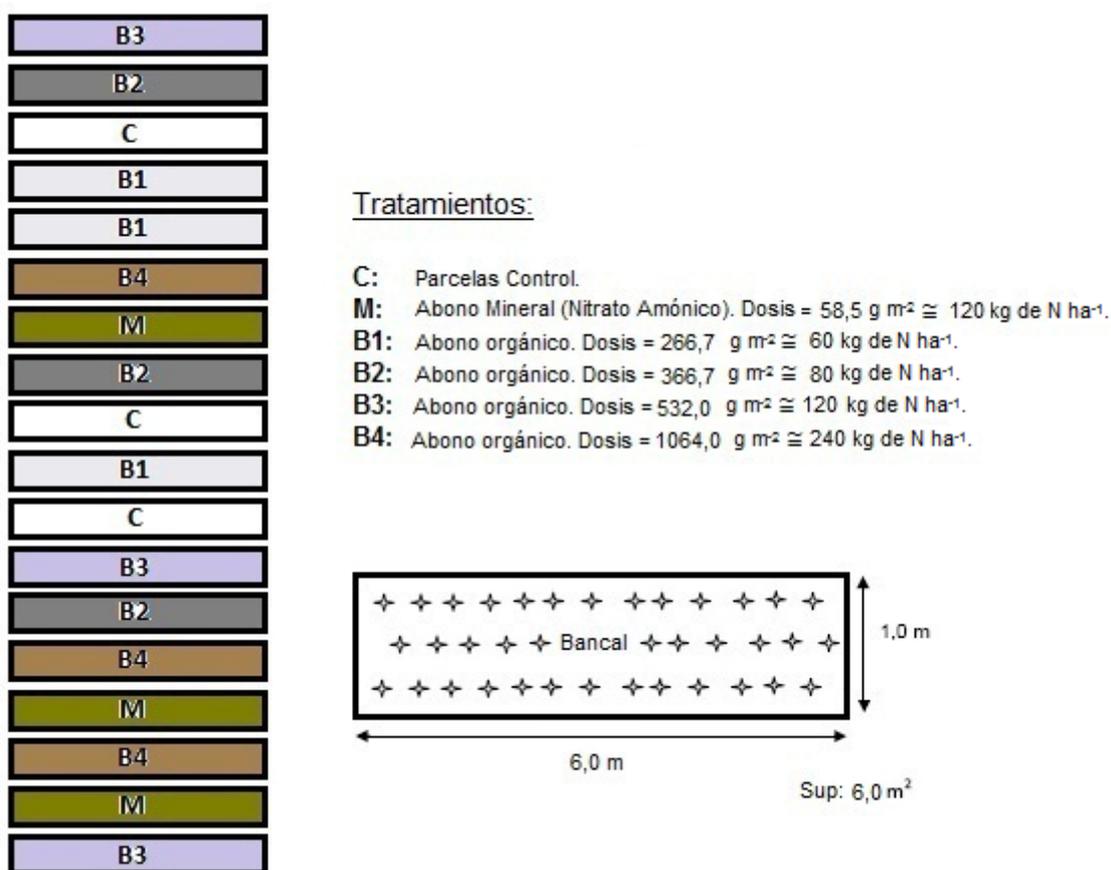


Figura 3  
Distribución de los bancales por tratamientos. C: control; M: abonado mineral. B1, B2, B3 y B4: dosis crecientes de abonado con BIOF-1

Las principales características del BIOF-1 y del nitrato amónico utilizado en el ensayo de otoño-invierno se detallan en la tabla 2.

Tabla 2  
Composición de los abonos utilizados en el ensayo de otoño-invierno (% p/p)

|                 | m.s.<br>(%) | C.E.<br>(dS m <sup>-1</sup> )<br>(extracto saturación) | pH<br>H <sub>2</sub> O<br>(1:5) | M.O.<br>(%) | C/N  | N<br>(%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(%) | K <sub>2</sub> O<br>(%) |
|-----------------|-------------|--|---------------------------------|-------------|------|----------|--------------------------------------|-------------------------|
| Nitrato amónico | -           | 8,50   | 4,50                            | -           | -    | 20,5     | -                                    | -                       |
| BIOF-1          | 87,77       | 10,95  | 6,54                            | 56,27       | 7,74 | 4,21     | 6,09                                 | 4,79                    |

Cultivos otoño-invierno 2001-2002

Las distintas dosis de BIOF-1 se eligieron con el fin de compensar las extracciones de N del cultivo, que se estiman entre 80 y 160 kg ha<sup>-1</sup> (Branco y Couto, 1962; Gardner y Pew, 1972; Hemphill y Jackson, 1982; Doerge et al., 1991; Rincón et al., 2002). Considerando, como se dijo, un porcentaje de mineralización del 60 % estimado para estiércoles de este tipo, se ensayaron distintas dosis, desde una muy baja (B1) hasta otra muy alta (B4) con el objetivo de llegar al techo de producción.

Se aplicaron por tanto cuatro dosis diferentes de BIOF-1:

- Tratamiento B1, con una cantidad en kg ha<sup>-1</sup> ligeramente inferior a la mínima recomendada (60 kg ha<sup>-1</sup> de N).
- Tratamiento B2, igualando las necesidades de N por hectárea mínimas necesarias para un buen desarrollo de este cultivo (80 kg ha<sup>-1</sup> de N).
- Tratamiento B3, intermedio al rango de necesidades de N por hectárea requeridas (120 kg ha<sup>-1</sup> de N).
- Tratamiento B4, que aportó una cantidad de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, superior al rango de necesidades de N (80 y 160 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno), en el cual esta hortícola alcanza las producciones más altas.

Tanto el abono mineral como el BIOF-1 se distribuyeron a mano sobre la superficie de los bancales (figura 4), incorporándolos en los centímetros superficiales del suelo con una labor poco profunda. En la línea central de cada bancal se instalaron tuberías de goteo (16 mm de diámetro) con boquillas/goteros situados cada 25 cm.



Figura 4  
Fertilización con BIOF-1 en los bancales pertenecientes a los tratamientos orgánicos

Después de abonar, con el fin de evitar el desarrollo de malas hierbas, los bancales se acolcharon con una película de polietileno negro de 100 galgas de espesor (figura 5).



Figura 5  
Acolchado de los bancales después de haber abonado

El 10 de octubre de 2001 se procedió a la plantación del primer ciclo otoño-invierno de lechuga. Se utilizó el cultivar 'Santa Cruz', una lechuga acogollada de otoño tipo 'Trocadero', de base ancha, con cogollo voluminoso, semicerrado, de color verde medio brillante, hoja mantecosa y con un peso por unidad de 500-600 g. Se establecieron 60 plántulas por bancal, en triple hilera, con un marco de plantación en tresbolillo de 0,3 x 0,3 m. Las plántulas, de 3-4 hojas, se obtuvieron de un vivero de la zona.

El riego fue aplicado por goteo para mantener el suelo con un potencial hídrico entre 0,02 y 0,025 MPa, indicado por tensiómetros colocados en cada bancal a una profundidad de 15 cm.

La temperatura interior del invernadero fue registrada mediante un termohigrógrafo, y se controló mediante un sistema de ventilación lateral manual y cenital automatizado.

El ciclo I de otoño-invierno se recolectó el 27 de noviembre, 48 días después de su plantación. Un mes más tarde, el 28 de diciembre, se inició el ciclo II con el fin de estudiar el efecto residual de los tratamientos con BIOF-1 del ciclo I. Se respetó la distribución de los tratamientos en las correspondientes parcelas del ensayo anterior, sin realizar ningún tipo de abonado adicional. En este segundo ciclo, se utilizaron plántulas del cultivar 'Plenty', cuyas características son muy parecidas a las del cultivar 'Santa Cruz', considerada una variedad de invierno con mejor tolerancia a las bajas temperaturas previsibles en los meses de desarrollo de este ensayo. El cultivar 'Plenty' también es una lechuga acogollada, de tipo 'Trocadero', de base ancha, con cogollo voluminoso, semicerrado, de color verde medio brillante, hoja mantecosa y que puede alcanzar un peso de 500-600 g.

Como en el ensayo anterior, se intentó controlar la temperatura interior del invernadero mediante el sistema de ventilación para mantener una media de 12 °C por la noche y 22 °C durante el día, temperaturas óptimas para el buen desarrollo de la lechuga (Navas y López, 2000). Las bajas temperaturas registradas obligaron a emplear una manta térmica, que se colocó a modo de cubierta sobre el cultivo durante los primeros 30 días, para evitar que la lechuga llegase al punto de congelación. La manta térmica se utilizó por la noche y se retiró por el día, hasta que las temperaturas fueron adecuadas para el cultivo. A pesar de ello, tanto durante el primero como en el segundo ciclo, las temperaturas mínimas en esta época siempre estuvieron por debajo del óptimo para este cultivo (figura 6 y 7).

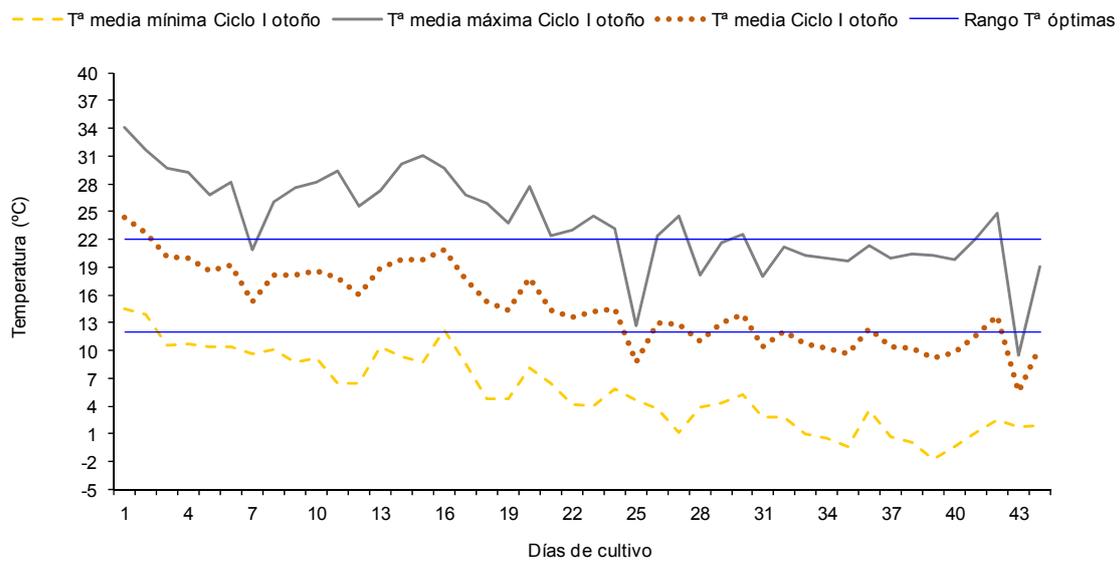


Figura 6  
 Temperaturas máximas y mínimas medias diarias medidas dentro del invernadero durante el ciclo I de otoño

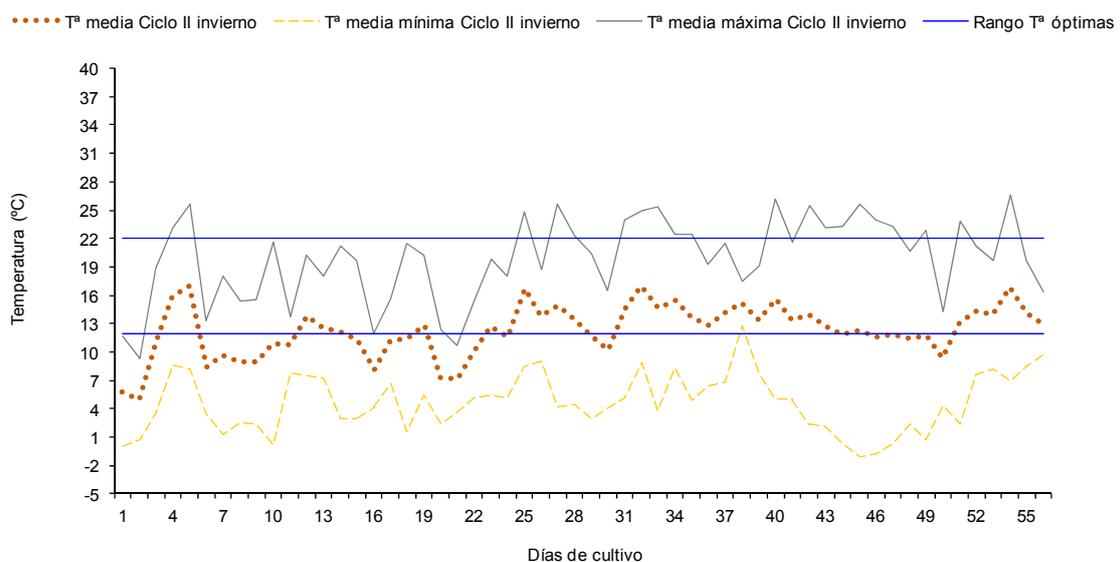


Figura 7  
 Temperaturas máximas y mínimas medias diarias medidas dentro del invernadero durante el ciclo II de invierno

El riego, al igual que en el cultivo anterior, fue aplicado por goteo para mantener el suelo entre 0,02 y 0,025 MPa, indicado por tensiómetros colocados en cada bancal a una profundidad de 15 cm. La frecuencia y duración del riego varió con respecto al primer cultivo, debido a las bajas temperaturas y a un problema de encharcamiento que afectó a los banales 13 y 18.

La recolección de lechuga se hizo el 27 de febrero de 2002, 61 días después de su plantación.

En los dos ciclos realizados en el periodo de octubre de 2001 a febrero de 2002, fue necesario tratar cuatro veces con metaldehido al 5 % ( $5 \text{ g m}^{-2}$ ) para el control de babosas.

### 2.3. Ensayo de producción de lechuga en primavera

Manteniendo la misma estructura de banales, instalación de riego por goteo y acolchado que en los cultivos de otoño-invierno, se diseñó un segundo ensayo para estudiar el potencial fertilizante a corto plazo y residual de tres dosis de BIOF-1 (B3, B4 y B5) en el cultivo de lechuga en estación cálida, en comparación con un control no abonado (C) y dos tratamientos minerales, uno convencional (Nitrato amónico, M) y otro de liberación lenta (Nitrofoska Stábil, Nf). Se llevaron a cabo para ello dos ciclos consecutivos de cultivo (figura 8).



Figura 8  
Calendario de los cultivos de primavera

Se mantuvo la misma distribución de tratamientos fertilizantes en los banales que en el ensayo de otoño-invierno (figura 9), con tres excepciones:

a. Se eliminó la dosis más baja de BIOF-1 (B1). En su lugar, en los banales correspondientes a ese tratamiento, se aplicó un fertilizante nitrogenado mineral, denominado Nitrofoska Stábil (tratamiento Nf,  $100 \text{ g m}^{-2}$ ), para proporcionar  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  (tabla 3). Se trata de un abono de liberación lenta, de uso común en huerta intensiva.

b. Se eliminó también el tratamiento B2, pero se volvieron a emplear las dos dosis más altas de BIOF-1 utilizadas en el ensayo de otoño-invierno (B3,  $634,7 \text{ g m}^{-2}$  y B4,  $1236,9 \text{ g m}^{-2}$ ) teniendo como referencia el N. La partida de BIOF-1 utilizada en este ensayo tuvo un contenido en N menor que la anterior (3,7 %), por ello la cantidad aportada fue algo superior que en el ensayo de otoño-invierno (tabla 3).

c. Se aplicó una nueva dosis de abono orgánico BIOF-1 (B5, 1904,0 g m<sup>-2</sup>), que incrementó el aporte de N hasta los 360 kg ha<sup>-1</sup>, con el objetivo de hallar el techo de producción de este cultivo en primavera (tabla 3).

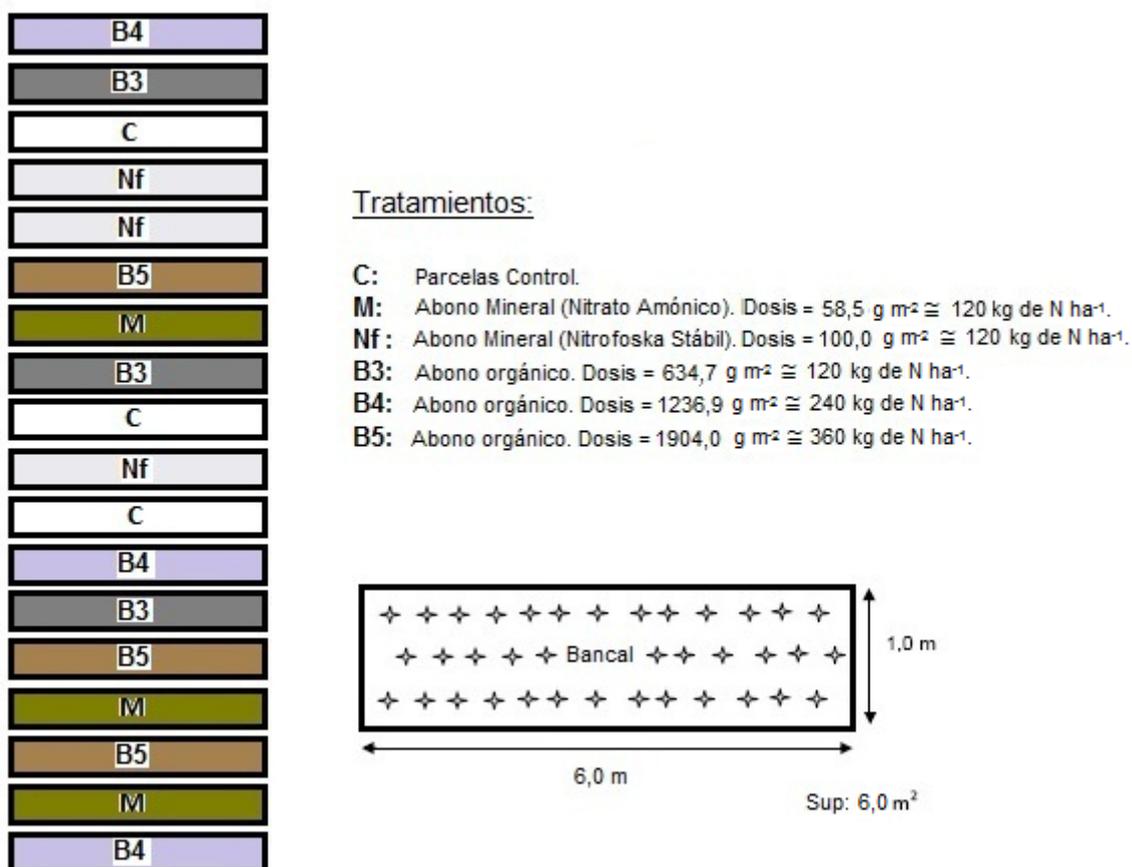


Figura 9  
Distribución de los bancales por tratamientos. C: control; M: abonado mineral (Nitrato Amónico); Nf: abonado mineral (Nitrofoska Stábil); B3, B4 y B5: dosis crecientes de abonado con BIOF-1

Las principales características del BIOF-1 y de los otros fertilizantes minerales utilizados en el ensayo de primavera se detallan en la tabla 3.

Tabla 3  
Composición de los abonos utilizados en el ensayo de primavera (% p/p)

|                         | m.s.<br>(%) | C.E.<br>(dS m <sup>-1</sup> )<br>(extracto saturación) | pH<br>H <sub>2</sub> O<br>(1:5) | M.O.<br>(%) | C/N   | N<br>(%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(%) | K <sub>2</sub> O<br>(%) |
|-------------------------|-------------|--|---------------------------------|-------------|-------|----------|--------------------------------------|-------------------------|
| Nitrato amónico         | -           | 8,50   | 4,50                            | -           | -     | 20,5     | -                                    | -                       |
| Nitrofoska Stábil       |             | -  | -                               | -           | -     | 12       | 12                                   | 17                      |
| BIOF-1                  | 87,64       | 10,81  | 6,68                            | 72,50       | 11,36 | 3,69     | 3,93                                 | 3,87                    |
| Cultivos primavera 2002 |             |  |                                 |             |       |          |                                      |                         |

Tras el abonado, el 17 de marzo de 2002 se realizó la plantación de lechuga, utilizando el cultivar 'Santa Cruz'.

El riego fue aplicado por goteo para mantener el suelo con un potencial hídrico entre 0,02 y 0,025 MPa, indicado por tensiómetros colocados en cada bancalete a una profundidad de 15 cm.

Desde el comienzo del cultivo se alcanzaron en el interior del invernadero temperaturas diurnas en torno a los 30 °C de media. Para mantener una temperatura media de 12 °C por la noche y 22 °C durante el día, el 26 de marzo (apenas una semana después de la plantación), fue necesario complementar el sistema de ventilación lateral y cenital automatizado con la instalación de una malla de sombreo, con un calado del 50 %, colocada a modo de cubierta a 2,5 m de altura sobre el cultivo.

De esta manera se redujo considerablemente la radiación directa y consecuentemente el calor y la temperatura sobre la planta de lechuga.

Las temperaturas nocturnas en el ciclo I de primavera nunca llegaron a alcanzar los 12 °C; en el ciclo II de primavera, las temperaturas mínimas fueron inferiores a 12 °C en los primeros 20 días de cultivo, durante el mes de mayo, pero en el mes de junio las temperaturas nocturnas estuvieron en general por encima de ese valor (figura 10 y 11).

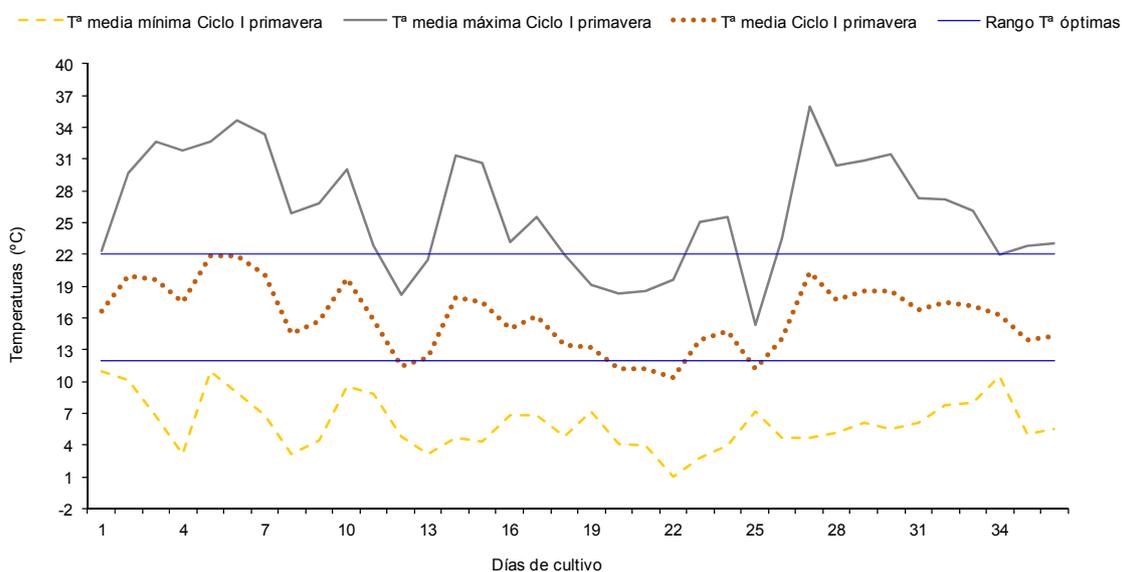


Figura 10  
Temperaturas máximas y mínimas medias semanales medidas dentro del invernadero durante el ciclo I de primavera

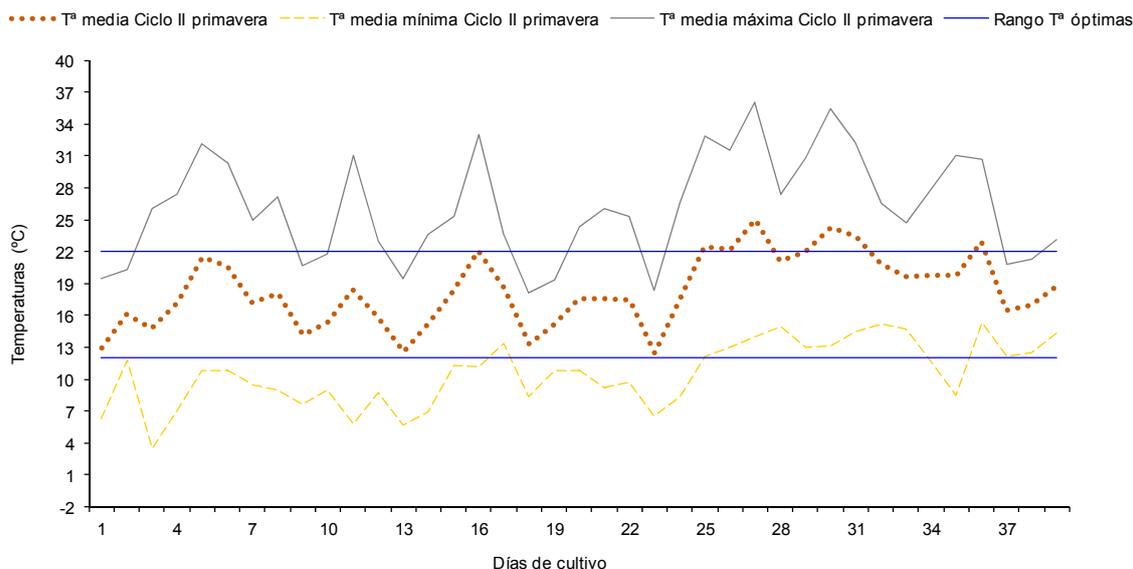


Figura 11

Temperaturas máximas y mínimas medias semanales medidas dentro del invernadero durante el ciclo II de primavera

La recolección del ciclo I de lechuga de primavera se hizo el 30 de abril, 44 días después de la plantación. Dos semanas después, el 11 de mayo de 2002, se estableció el ciclo II con el fin de estudiar el efecto residual del abono de liberación lenta (Nf) y el fertilizante BIOF-1, realizando la plantación sin aportar ningún tipo de abonado. Se utilizó el cultivar 'Hades', ya que, tras las altas temperaturas registradas durante el primer cultivo, se creyó más adecuado cultivar una variedad de verano resistente al espigado. El cultivar 'Hades' es también una lechuga acogollada, de tipo 'Trocadero', de base ancha, con cogollo voluminoso y semicerrado, de color verde medio brillante y hoja mantecosa, aunque el peso medio por unidad es inferior al del cultivar 'Santa Cruz' (<500-600 g).

Para controlar las altas temperaturas del interior del invernadero, se mantuvo la malla de sombreo.

El ciclo II de primavera se recolectó el 26 de junio de 2002, 46 días tras su plantación.

Debido a un ataque de roedores, fue necesario emplear cebos, colocados en distintos puntos a lo largo del invernadero. El 27 de marzo se aplicó un tratamiento control de mildiu, con el producto comercial Antracol 70 PM (70 % Propineb). En los dos ciclos desarrollados en el periodo de marzo a junio de 2002, se realizaron cuatro aplicaciones de metaldehído al 5 % para el control de babosas.

#### 2.4. Toma de muestras de planta y evaluación del rendimiento económico

En todos los ciclos de cultivo, las lechugas se recolectaron entre las 9 y las 12 h de la mañana. En cada ciclo, se pesaron en fresco las 60 lechugas de cada bancal (figura 12).



Figura 12  
Detalle de una lechuga cortada

En ambos ensayos, y para cada ciclo de lechuga, se cuantificó en cada tratamiento el número de lechugas de valor comercial, es decir aquellas cuyo peso superaba los 100 g, peso a partir del cual una lechuga tiene valor comercial según el Reglamento CE Nº 1543/2001 de la Comisión del 27 de junio de 2001.

Por diferencia con el número total de lechugas cosechadas, se obtuvo el número y el porcentaje de lechugas no comerciales de cada tratamiento, tanto para el primer ensayo (ciclos de otoño-invierno), como para el segundo (ciclos de primavera).

En cuanto a la rentabilidad económica, se empleó el cálculo de Ingresos menos Costes de fertilización (Hamdar y Rubeiz, 2000). De este modo se obtuvo un beneficio parcial que, aunque no fuese el real, sí que sirve para clasificar de mayor a menor la rentabilidad de los diferentes tratamientos. Para el cálculo no se tuvieron en cuenta todos los costes que realmente existieron (mano de obra, maquinaria, productos fitosanitarios, etc) ya que no difieren de un tratamiento a otro, por lo que no influyó en la valoración relativa de cada tratamiento frente a los demás. En este caso solo se consideró el único factor que es diferente, es decir la cantidad y coste de cada fertilizante aplicado. Por tanto, el beneficio analizado no fue el real, pero sí sirvió para clasificar los tratamientos y descartar aquellos que no fueron económicamente rentables.

Los ingresos directos de cada tratamiento estudiado, se obtuvieron de la siguiente forma:

$I_{\text{tratamiento}} (\text{€ ha}^{-1}) = (\text{n}^{\circ} \text{ de cogollos ha}^{-1}) \times (\% \text{ unidades comercializables}) \times (\text{peso en kg ud}^{-1} \text{ de lechuga}) \times (\text{precio (€) kg}^{-1} \text{ ud lechuga})$

Para este estudio, sólo se consideraron los ingresos económicos directos originados por la venta de las lechugas producidas para cada dosis aplicada. Además, se utilizó el mismo precio medio de venta (0,30 € kg<sup>-1</sup>) para las lechugas recogidas en ambos ciclos de primavera (Mercasa, 2002).

El cálculo del coste generado por la aplicación de los fertilizantes en cada tratamiento, se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$C_{\text{tratamiento}} (\text{€ ha}^{-1}) = \text{Precio fertilizante (€ kg}^{-1}) \times \text{Dosis de abonado (kg ha}^{-1})$

El precio de los abonos utilizados en los ciclos se puede ver en la tabla 4. Estos fueron los precios de venta en fábrica para el año 2002. El coste por kilogramo del BIOF-1 fue de 11,5 céntimos de euro.

Tabla 4  
Precios de los abonos de venta a granel en fábrica

| Fertilizante                 | Nitrato Amónico<br>(20, 5 % de N) | Nitrofoska Stábil<br>(12 % de N) | BIOF-1<br>(3,69 % de N) |
|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Precio (€ kg <sup>-1</sup> ) | 0,172                             | 0,563                            | 0,115                   |

Los cálculos de costes y beneficios parciales se hicieron para el ensayo de producción de lechuga de primavera, por ser en el que se emplearon las dosis más altas de fertilizante BIOF-1, teniendo en cuenta que los costes de fertilización se generaron en el ciclo I de primavera, obteniéndose la cosecha siguiente (ciclo II) a partir del efecto residual del abonado inicial.

## 2.5. Análisis de muestra de abono orgánico

El estiércol de pollo (BIOF-1) se secó en estufa a 105 °C durante 24 horas para determinar el porcentaje de humedad. Seguidamente se molió hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm.

El pH se determinó en extracto acuoso con una relación muestra:agua de 1:5 p/v. La conductividad eléctrica (C.E.) se midió en extracto de saturación (Richards, 1954). El C y N totales se analizaron mediante combustión seca con un autoanalizador LECO-2000. Los contenidos totales de P y K se determinaron en extractos obtenidos tras la digestión de las muestras con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 33 % a 360 °C (Thomas et al., 1967). El P se analizó mediante colorimetría del complejo azul fosfomolibdico (Chapman y Pratt, 1961) y el K por espectrofotometría de emisión atómica.

## 2.6. Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a una comparación de medias a través de un análisis de varianza con un solo factor, Anova I, aplicando el test de diferencia mínima significativa (DMS), comprobando previamente si los datos eran normales (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y efectuando la prueba de homogeneidad de la varianza de Levene. Se empleó el paquete estadístico SPSS 17.0.

Se estimó también la relación entre la dosis de BIOF-1 y el peso fresco de la lechuga, para el ciclo II de primavera, mediante un análisis de regresión, utilizando el menor valor de la varianza residual y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) como criterios para la selección de la ecuación con mejor bondad de ajuste.

## 3. Resultados

### 3.1. Producción de lechuga: cultivos de otoño-invierno

Para evaluar el empleo del abono orgánico BIOF-1 objeto de estudio en el cultivo de lechuga, es fundamental conocer los rendimientos obtenidos expresados en peso fresco por unidad de lechuga, ya que esta es consumida *in natura*.

Como cabría esperar, en ambos ciclos, en todos los tratamientos fertilizantes el peso medio de lechuga en fresco fue superior a los tratamientos control, que registraron 200 y 47 g por unidad de lechuga para el ciclo I y II respectivamente (figura 13). El peso medio más alto se obtuvo en el ciclo I con la dosis más elevada de BIOF-1 (B4: 1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>); en el ciclo II, las lechugas de mayor peso fueron de solo 150 g ud<sup>-1</sup> y se obtuvieron también en el tratamiento B4 (figura 13).

En el ciclo I de otoño, se apreció que, a mayor cantidad de abono orgánico aportado, se consiguió un mayor incremento en el peso de las lechugas, pasando de los 250 g ud<sup>-1</sup> con la dosis B1 a los 300 g ud<sup>-1</sup>, con la dosis B4. El fertilizante mineral y la dosis más baja de BIOF-1, proporcionaron lechugas de peso parecido (230-240 g ud<sup>-1</sup>).

En el ciclo II de invierno, fruto del efecto residual de los abonados realizados durante el ciclo I de otoño, se pudo apreciar como el abono orgánico BIOF-1 a las dosis más altas (B2, B3 y B4) dio lugar a lechugas con un peso igual o superior a 100 g ud<sup>-1</sup>, peso mínimo que debe presentar una lechuga para poder ser comercializada según el Reglamento CE N° 1543/2001 de la Comisión del 27 de junio de 2001 por el que se establecen las normas de comercialización de lechugas y escarolas (figura 14). Sin embargo, en los bancales control (C) y mineral (M) las lechugas no superaron los 50 g ud<sup>-1</sup>. La dosis más alta de BIOF-1 (B4) produjo las lechugas de mayor peso (152 g ud<sup>-1</sup>) en este ciclo.

En los dos ciclos de otoño-invierno se observó la misma tendencia: a mayor cantidad de abono orgánico aplicada, mayor peso por unidad de lechuga cosechada (figura 13).

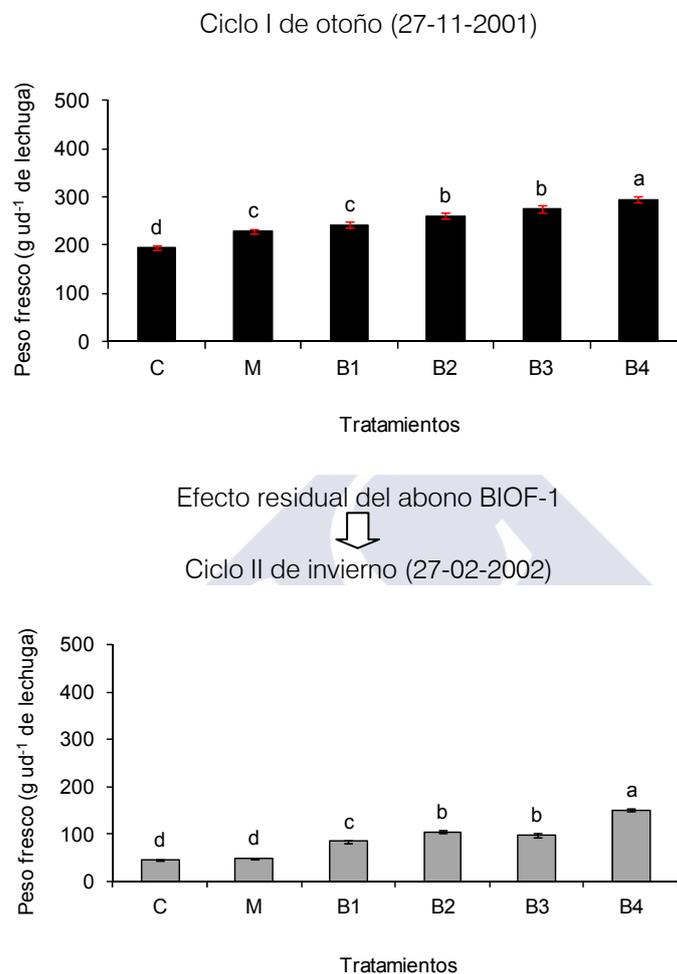


Figura 13

Peso fresco de lechuga (g ud<sup>-1</sup> de lechuga) en los cultivos de otoño-invierno. C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$

Aspecto del ciclo I de otoño en el momento de la cosecha (27-11-2001)



Aspecto del ciclo II de invierno en el momento de la cosecha (27-02-2002)

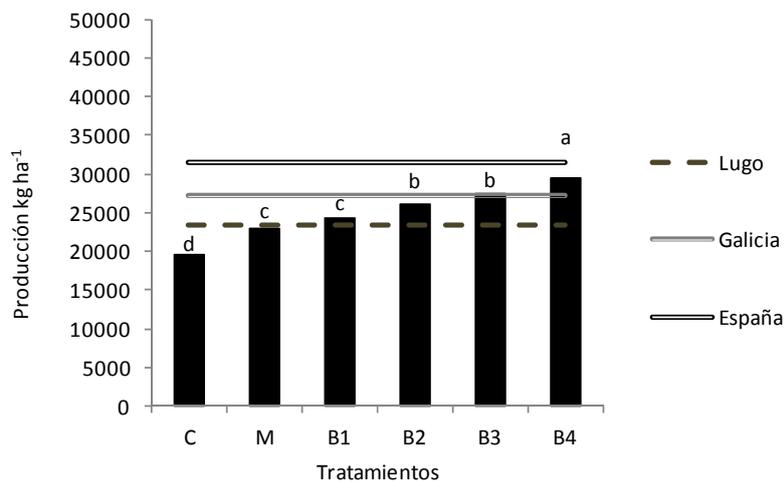


Efecto residual del abono BIOF-1  


Figura 14  
 Estado de los cultivos de otoño-invierno el día de su recolección

Si comparamos las producciones de lechuga, en  $\text{kg ha}^{-1}$ , de los diferentes tratamientos de los dos cultivos de otoño-invierno, con las producciones medias obtenidas en invernadero en la provincia de Lugo ( $23.500 \text{ kg ha}^{-1}$ ), en Galicia ( $27.329 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y en el conjunto del estado español ( $31.462 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (MAGRAMA, 2002), se aprecia que sólo los tratamientos orgánicos B1 ( $266,7 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B2 ( $366,7 \text{ g m}^{-2} \sim 80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B3 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4 ( $1064,0 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) del ciclo I de otoño igualaron o superaron la producción de este cultivo en la provincia de Lugo (figura 15), las dosis B3 y B4 consiguieron incluso producciones superiores a las obtenidas en Galicia en ese año.

Ciclo I de otoño (27-11-2001)



Efecto residual del abono BIOF-1



Ciclo II de invierno (27-02-2002)

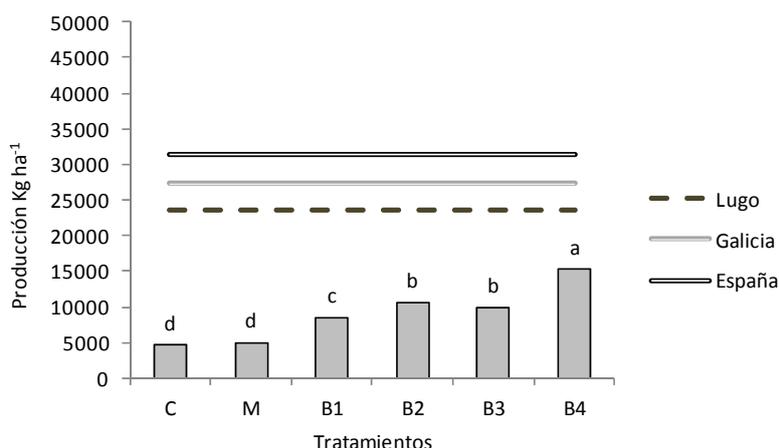


Figura 15

Producción en kg ha<sup>-1</sup> de los cultivos de otoño (Ciclo I) e invierno (Ciclo II) y comparación con las producciones obtenidas en el año 2001 en la provincia de Lugo, en Galicia y España. C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$

El porcentaje de incremento de peso fresco medio por unidad de lechuga en cada tratamiento orgánico (B1, B2, B3 y B4), respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas control (C) y abonadas con fertilizante mineral (M) en el ciclo I de otoño fue incrementándose según se aumentó la dosis de kg de nitrógeno por hectárea, siendo mayor este porcentaje con respecto al control (C), que con respecto al tratamiento mineral (M) (tabla 5).

Tabla 5

Porcentaje (%) de incremento del peso fresco medio por unidad de lechuga en cada tratamiento orgánico respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas control (C) y abonadas con fertilizante mineral (M) en el ciclo I de otoño (27-11-2001)

| Tratamiento orgánico (BIOF-1)                              | % Δ en peso fresco respecto del C (control) | % Δ en peso fresco respecto del M (abonado mineral) |
|--|---|---|
| B1 (266,7 g m <sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha <sup>-1</sup> )   | 24,36                                       | 5,54  |
| B2 (366,7 g m <sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha <sup>-1</sup> )   | 33,95                                       | 13,68   |
| B3 (532,0 g m <sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha <sup>-1</sup> )  | 40,14                                       | 19,78   |
| B4 (1064,0 g m <sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 51,32                                       | 28,42   |

Sin embargo, en el II ciclo de invierno, estos porcentajes de incremento fueron mucho mayores, llegando prácticamente al 100 % en el caso del tratamiento orgánico B3 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), superando el 200 % con la dosis más alta de BIOF-1, B4: 240 kg N ha<sup>-1</sup>, tanto con respecto a las parcelas control (C), como a las fertilizadas con abono mineral (M).

Tabla 6

Porcentaje (%) de incremento del peso fresco medio por unidad de lechuga en cada tratamiento orgánico respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas control (C) y abonadas con fertilizante mineral (M) en el ciclo II de invierno (27-02-2002)

| Tratamiento orgánico<br>(BIOF-1)                           | % Δ en peso fresco<br>respecto del C (control) | % Δ en peso fresco respecto<br>del M (abonado mineral) |
|--|--|--|
| B1 (266,7 g m <sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha <sup>-1</sup> )   | 83,55  | 69,02  |
| B2 (366,7 g m <sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha <sup>-1</sup> )   | 128,56   | 110,48   |
| B3 (532,0 g m <sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha <sup>-1</sup> )  | 114,36   | 97,39  |
| B4 (1064,0 g m <sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 228,30   | 202,33   |

### 3.2. Producción de lechuga: cultivos de primavera

Al igual que en los ciclos otoño-invierno, y como cabría esperar, los tratamientos fertilizantes dieron lugar a lechugas con pesos medios superiores a las parcelas control, tanto en el ciclo I como en el ciclo II de primavera.

Las lechugas de los tratamientos control (C) fueron las de menor peso, seguidas por las recogidas en los bancales donde se aportó nitrato amónico (figura 17). En el ciclo I de primavera (figura 16), las mejores producciones de lechuga, 270 g ud<sup>-1</sup>, se obtuvieron en los bancales que recibieron el fertilizante Nitrofoska Stábil (Nf) (figura 17), seguidas de las fertilizadas con las dos dosis más altas de abono orgánico (B3 y B5). En el ciclo II de primavera se evidenció el efecto residual de todos los tratamientos de fertilización respecto al control (figura 17), especialmente de los tratamientos con BIOF-1. Las lechugas de mayor peso (470 g ud<sup>-1</sup>) se recolectaron en los bancales que habían recibido la dosis más alta de BIOF-1 (B5: 1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>) en el ciclo I.

Aspecto del ciclo I de primavera (30-04-2002)



Aspecto del ciclo II de primavera (26-06-2002)



Efecto residual del abono BIOF-1



Figura 16

Estado de los cultivos de primavera el día de su recolección

En esta época de cultivo el efecto residual se observa con mayor claridad, ya que en el ciclo II de lechuga, producción obtenida a partir del abonado residual del ciclo

anterior, en los tres tratamientos de BIOF-1 (B3, B4 y B5) se consiguieron lechugas con pesos muy superiores a los cien gramos de peso por unidad, en concreto, la dosis más elevada (B5) produjo lechugas de más de 450 g de peso (figura 17).

En el ciclo II de primavera se puede observar la misma tendencia que en los ciclos de otoño-invierno, a mayor cantidad de abono orgánico, mayor peso por unidad de lechuga cosechada. Sin embargo, en el ciclo I de primavera prácticamente no hubo diferencias entre las tres dosis de abono orgánico (B3, B4 y B5) (figura 17).

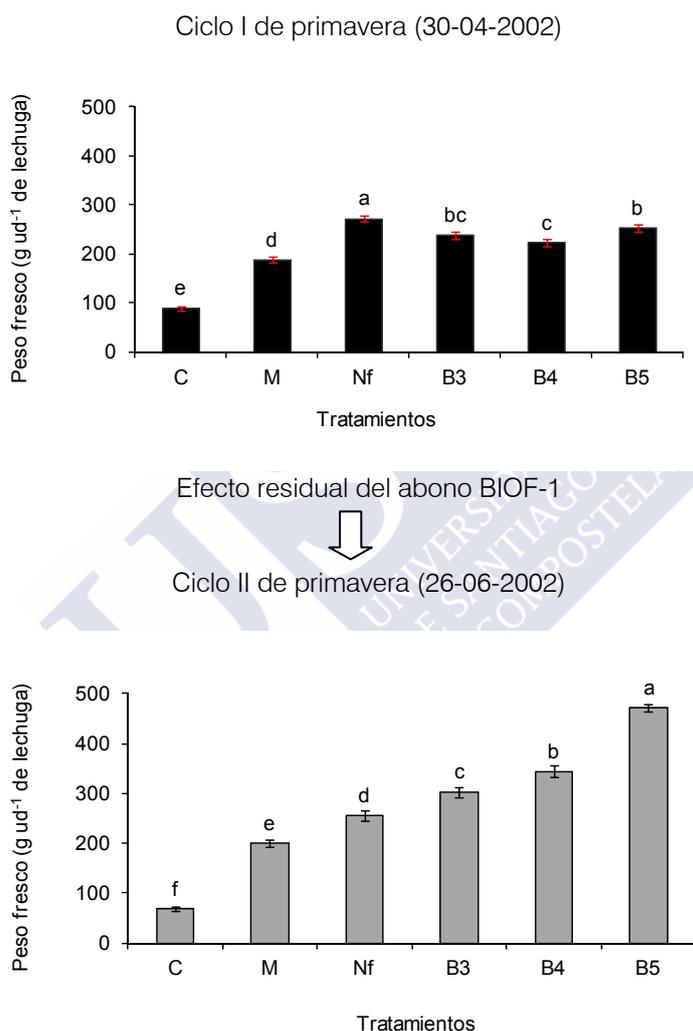


Figura 17

Peso fresco de lechuga (g ud<sup>-1</sup> de lechuga) en los cultivos de primavera. C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$

Al comparar las producciones de lechuga en kg ha<sup>-1</sup> de los diferentes tratamientos de los ciclos I y II de primavera (figura 18) con las producciones medias obtenidas en

la provincia de Lugo ( $23.500 \text{ kg ha}^{-1}$ ), en Galicia ( $27.329 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y en España ( $31.462 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en el año 2001 (MAGRAMA, 2002), se observa que las producciones obtenidas en este ensayo, tanto con los tratamientos orgánicos de BIOF-1, como con el tratamiento mineral con Nitrofoska Stábil igualan o superan a la producción media de la provincia de Lugo, mientras que solo con el tratamiento mineral Nitrofoska Stábil se llega a la media de Galicia.

En cambio, el efecto residual de todas las dosis de abonado orgánico BIOF-1 (B3, B4 y B5) en el ciclo II de primavera, originó producciones superiores a las obtenidas en Galicia, alcanzándose con las dosis más altas de BIOF-1 (B4 y B5) producciones más altas que las de la media española para esta hortícola (figura 18).

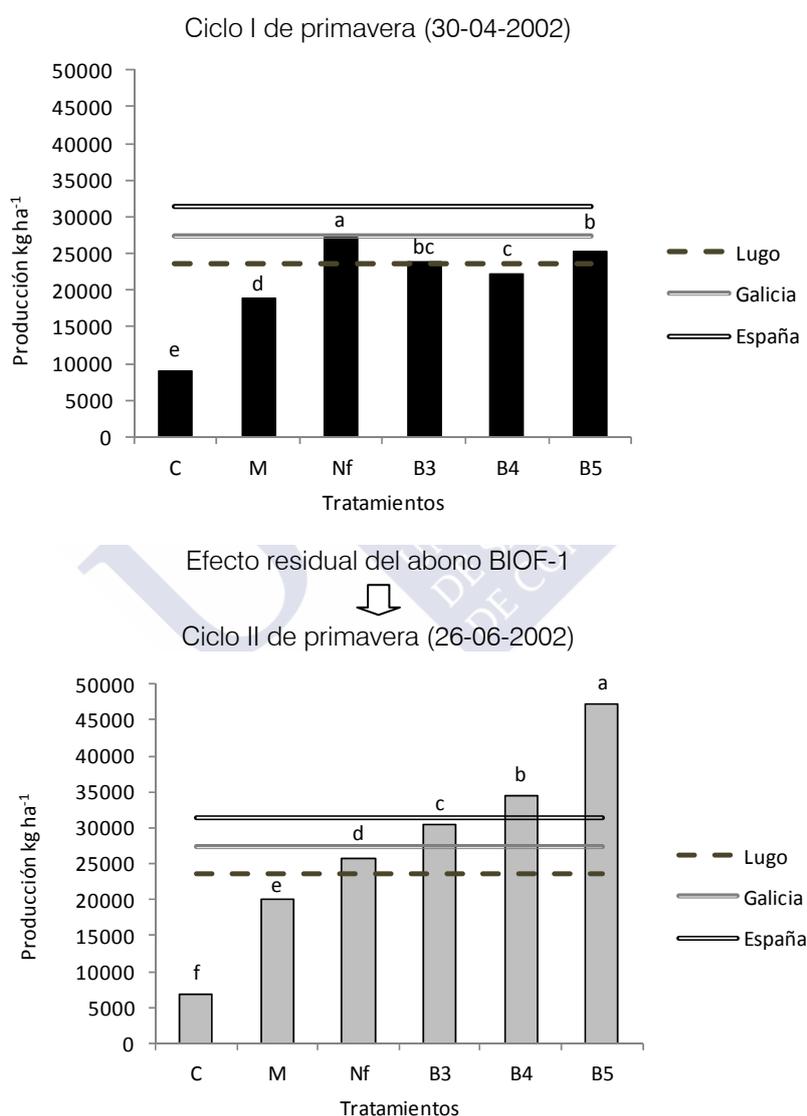


Figura 18

Producción en  $\text{kg ha}^{-1}$  de los cultivos de primavera. C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

Nuevamente, como ya había sucedido en el ciclo de otoño-invierno, se volvieron a producir porcentajes de incremento de los tres tratamientos orgánicos (B3, B4 y B5), con respecto a las parcelas control (C) y a las lechugas fertilizadas con nitrato amónico (M) (tabla 7); siendo este incremento casi siempre superior al 150 % con respecto al control (C). Sin embargo, no hubo porcentajes de incremento en relación a los bancales fertilizados con Nitrofoska Stábil.

Tabla 7

Porcentaje (%) de incremento del peso fresco medio por unidad de lechuga en cada tratamiento orgánico respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas control (C) y abonadas, con nitrato amónico (M) y Nitrofoska Stábil (Nf) en el ciclo I de primavera (30-04-2002)

| Tratamiento orgánico<br>(BIOF-1)                           | % Δ en peso fresco respecto del C (control) | % Δ en peso fresco respecto del M (Nitrato amónico) | % Δ en peso fresco respecto del Nf (Nitrofoska Stábil) |
|--|---|---|--|
| B3 (634,7 g m <sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha <sup>-1</sup> )  | 166,22                                      | 26,47   | 0  |
| B4 (1236,9 g m <sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 148,84                                      | 18,21   | 0  |
| B5 (1904,0 g m <sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 182,74                                      | 34,32   | 0  |

Por el contrario, en el II cultivo de primavera, sí hubo porcentajes de incremento de todos los tratamientos orgánicos (B3, B4 y B5) con respecto a las parcelas control (C) y a los bancales fertilizados con abonos minerales (M y Nf) (tabla 8). Así, con la dosis B5 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>) se produjo un incremento próximo al 600 % con respecto a las parcelas control (C), superior al 135 % con respecto a los bancales fertilizados con nitrato amónico y de más del 83 % en relación a las lechugas abonadas con Nitrofoska Stábil.

Tabla 8

Porcentaje (%) de incremento del peso fresco medio por unidad de lechuga en cada tratamiento orgánico respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas control (C) y abonadas, con nitrato amónico (M) y Nitrofoska Stábil (Nf) en el ciclo II de primavera (26-06-2002)

| Tratamiento orgánico<br>(BIOF-1)                           | % Δ en peso fresco respecto del C (control) | % Δ en peso fresco respecto del M (Nitrato amónico) | % Δ en peso fresco respecto del Nf (Nitrofoska Stábil) |
|--|---|---|--|
| B3 (634,7 g m <sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha <sup>-1</sup> )  | 344,90                                      | 51,65   | 18,26  |
| B4 (1236,9 g m <sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 404,69                                      | 72,03   | 34,15  |
| B5 (1904,0 g m <sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha <sup>-1</sup> ) | 591,82                                      | 135,82  | 83,89  |

En el ciclo II de primavera si se analiza cómo influye la fertilización con BIOF-1 sobre el peso fresco de la lechuga, se obtiene una relación cuadrática entre las dosis crecientes de BIOF-1 y el peso fresco por unidad de lechuga (figura 19), siendo el coeficiente de regresión significativo ( $R^2 = 0,95$ ). Es decir, el peso fresco de las lechugas aumentó al incrementarse la dosis del estiércol de pollo, aunque no se llegó a alcanzar el punto en el cual a mayor dosis de abono, deje de incrementarse el peso de las lechugas.

Ciclo II de primavera (26-06-2002)

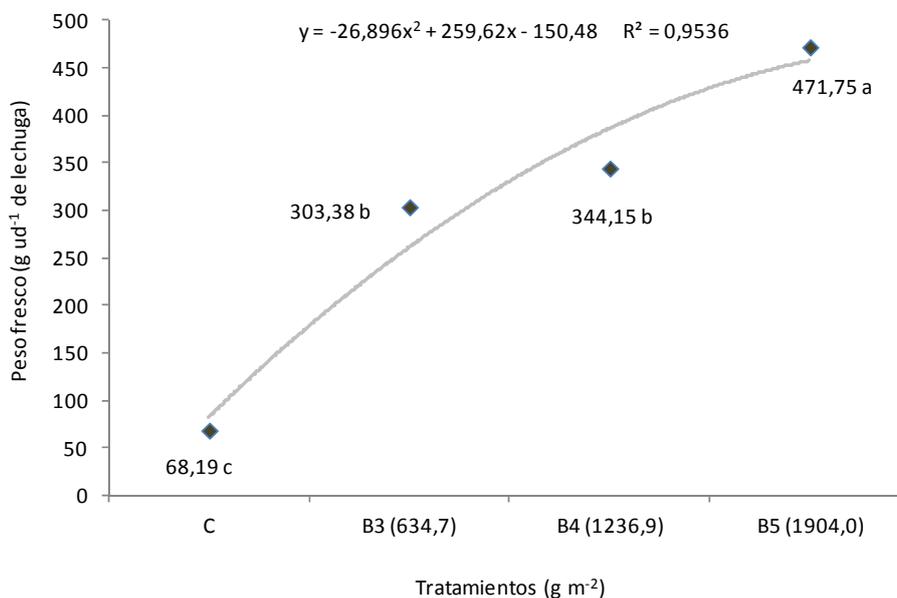


Figura 19

Peso fresco (g) por unidad de lechuga en función de la dosis de abono orgánico utilizada y ecuación de regresión para las lechugas del segundo ciclo de primavera. C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>). Puntos con letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$

Para estimar la dosis máxima del abono orgánico BIOF-1 a partir de la cual se produce un descenso del peso fresco (g) por unidad de lechuga hubo que recurrir al cálculo sobre la base de modelos cuadráticos ajustados a la ecuación de regresión que se muestra en la figura 19 ( $Y = -26,896x^2 + 259,62x - 150,48$ ), donde  $x$  representa la cantidad de abono orgánico aportado (g m<sup>-2</sup>) e  $y$  equivale al peso fresco (g) por unidad de lechuga.

La dosis de BIOF-1 que daría como resultado una máxima producción sería de 4.826 g m<sup>-2</sup>, para lo cual fue necesario igualar a cero la primera derivada de la ecuación anteriormente expuesta y resolverla para obtener dicha dosis máxima.

### 3.3. Producción comercial en ciclos de otoño-invierno y primavera

En el ciclo I de otoño, los tratamientos que dieron lugar al mayor porcentaje de lechugas comerciales fueron la dosis más alta de BIOF-1, B4 (1064 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg de N por ha) y el tratamiento con nitrato amónico (90 y 91 % respectivos), aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos y el mineral (figura 20).

En cuanto al ciclo II de invierno, la producción comercial del tratamiento orgánico B4 (1064 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg de N por ha) fue superior a la de los tratamientos control (C) y mineral (M) en un 71 % y 70 % respectivamente. Dentro de las parcelas abonadas con BIOF-1, sólo en los bancales donde se empleó la mayor cantidad de BIOF-1 (1064 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg de N por ha) se consiguió un porcentaje de lechugas comerciales superior a las no comerciales (figura 20).

Si se compara el ciclo I de otoño con el ciclo II de invierno, el porcentaje de lechugas comerciales se redujo significativamente en el ciclo II en los tratamientos control y mineral, no superando el 4 y el 3 % de lechugas comerciales en estos tratamientos. En las parcelas fertilizadas con BIOF-1 la reducción fue menor. En el tratamiento B1 solo se consiguieron un 31 % de lechugas que alcanzaron el peso comercial, en el B2 un 46 % de las lechugas tenían más de 100 g y en los tratamientos B3 y B4 los porcentajes de lechugas comerciales fueron del 51 % y el 79 %, respectivamente.

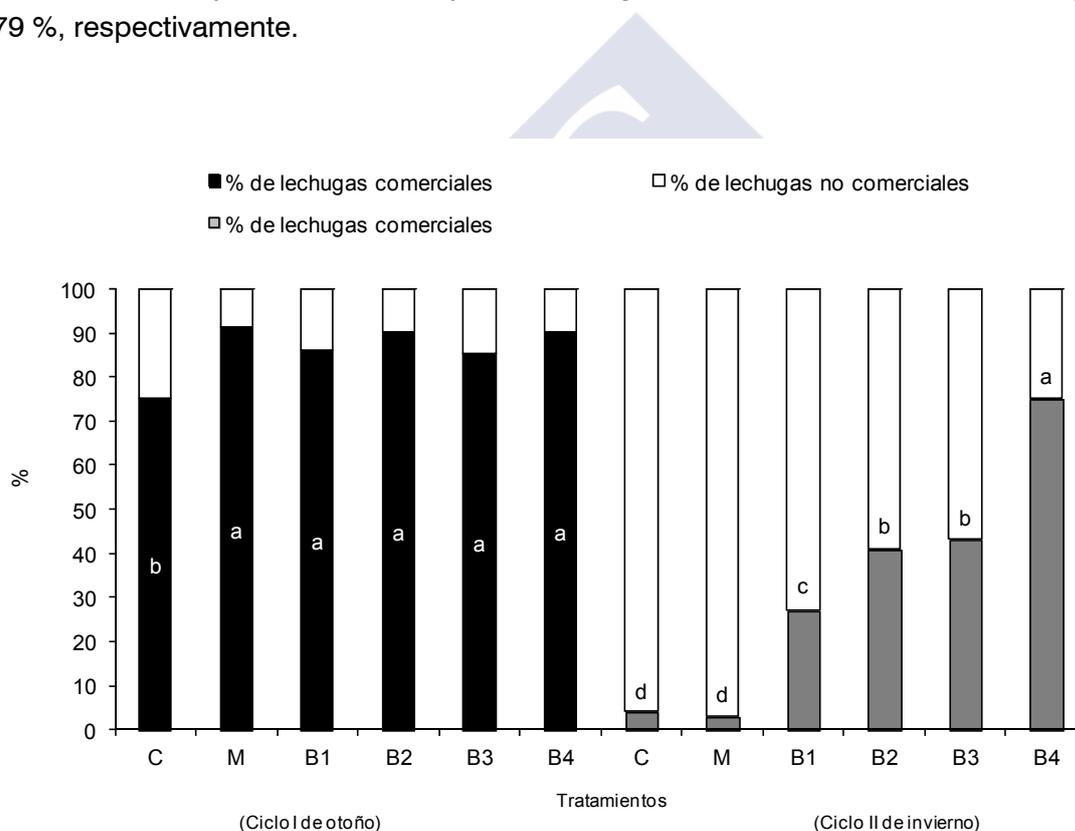


Figura 20

Producción comercial y no comercial obtenida según tratamientos en los cultivos de otoño-invierno. C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>)

En el ciclo I de primavera el fertilizante mineral Nitrofoska Stábil (Nf) proporcionó el porcentaje más alto de lechugas comerciales. Los tratamientos orgánicos B3, B4 y B5 produjeron un mayor porcentaje de lechugas comerciales que el tratamiento mineral (M), pero sensiblemente inferior al Nf (figura 21). Sin embargo, el porcentaje de lechugas comerciales en el ciclo II de primavera fue siempre mayor en los bancales

donde se aplicó BIOF-1, superando a los tratamientos control (C) y minerales (M y Nf). Sólo en los bancales testigo (C), el porcentaje de lechugas no comerciales (< 100 g ud<sup>-1</sup> lechuga) superó al de las comerciales.

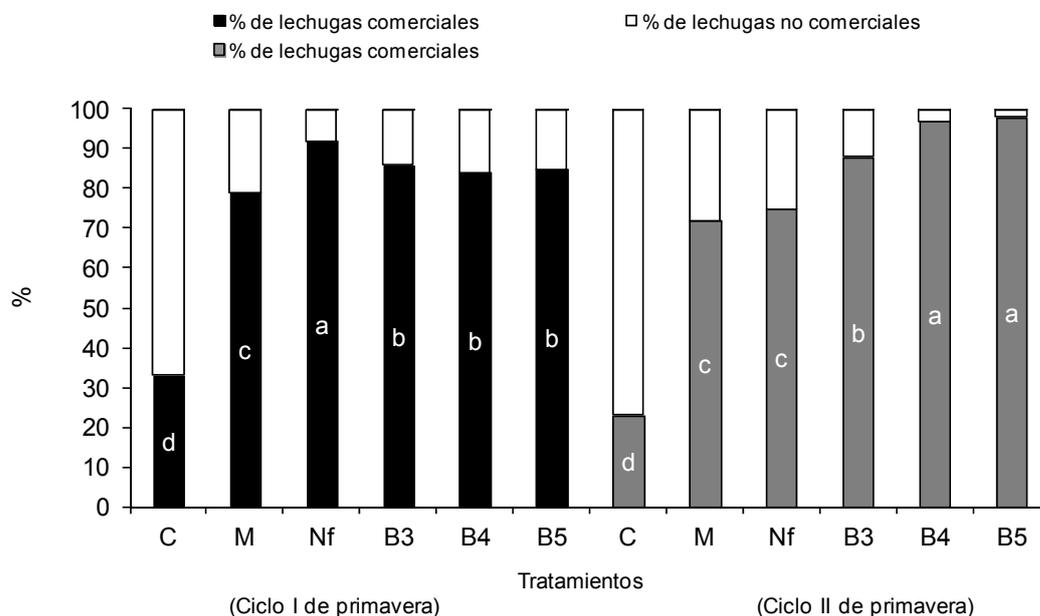


Figura 21  
Producción comercial y no comercial obtenida según tratamientos en los cultivos de primavera. C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>)

### 3.4. Rentabilidad económica

A continuación se presenta el estudio de rentabilidad económica, que fue calculado únicamente para los cultivos de primavera-verano. El ciclo I de primavera dio los peores resultados económicos en el cultivo de primavera-verano (tabla 9), donde se concentraron todos los costes de fertilización. Este descenso de beneficios parciales se compensó con posterioridad por los ingresos obtenidos en el ciclo II sin haber aplicado fertilización (tabla 10).

Tabla 9

Beneficios y costes de los distintos tratamientos fertilizantes para el ciclo I de primavera. C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ )

| Tratamientos fertilizantes   | Coste de Fertilizante (€ ha <sup>-1</sup> ) | Ingresos Directos (€ ha <sup>-1</sup> ) | Beneficio Parcial: Ingresos - Coste de fertilización |
|--|---|---|--|
| <b>C</b><br>( $0 \text{ g m}^{-2} \sim 0 \text{ kg de N ha}^{-1}$ )      | 0   | 712                                     | 712  |
| <b>M</b><br>( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )    | 101   | 2.005                                   | 1.904  |
| <b>Nf</b><br>( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )  | 563   | 3.378                                   | 2.815  |
| <b>B3</b><br>( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )  | 730   | 2.763                                   | 2.033  |
| <b>B4</b><br>( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) | 1.422                                       | 2.517                                   | 1.095  |
| <b>B5</b><br>( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) | 2.190                                       | 2.903                                   | 713  |

Tabla 10

Beneficios y costes de los distintos tratamientos fertilizantes para el ciclo II de primavera. C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ )

| Tratamientos fertilizantes   | Coste de Fertilizante (€ ha <sup>-1</sup> ) | Ingresos Directos (€ ha <sup>-1</sup> ) | Beneficio Parcial: Ingresos - Coste de fertilización |
|--|---|---|--|
| <b>C</b><br>( $0 \text{ g m}^{-2} \sim 0 \text{ kg de N ha}^{-1}$ )      | 0   | 377                                     | 377  |
| <b>M</b><br>( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )    | 0   | 1.944                                   | 1.944  |
| <b>Nf</b><br>( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )  | 0   | 2.592                                   | 2.592  |
| <b>B3</b><br>( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ )  | 0   | 3.600                                   | 3.600  |
| <b>B4</b><br>( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) | 0   | 4.505                                   | 4.505  |
| <b>B5</b><br>( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) | 0   | 6.245                                   | 6.245  |

Los beneficios parciales acumulados en los cultivos de primavera, en cualquiera de los tratamientos en los que se aplicó BIOF-1, fueron siempre mayores a los conseguidos con la utilización de fertilizantes minerales (nitrato amónico y Nitrofoska Stábil) (tabla 11).

Tabla 11

Beneficios acumulados para los cultivos de primavera en euros. C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>)

| Tratamientos fertilizantes    | C     | M     | Nf    | B3    | B4    | B5    |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Beneficio parcial acumulado:  | 1.089 | 3.848 | 5.407 | 5.633 | 5.600 | 6.958 |
| Ingresos - Coste fertilizante |       |       |       |       |       |       |

Observando la figura 22, se puede apreciar que al emplear la dosis más baja de BIOF-1 (B3) en primavera, se obtuvo el ritmo de crecimiento de beneficios más elevado.

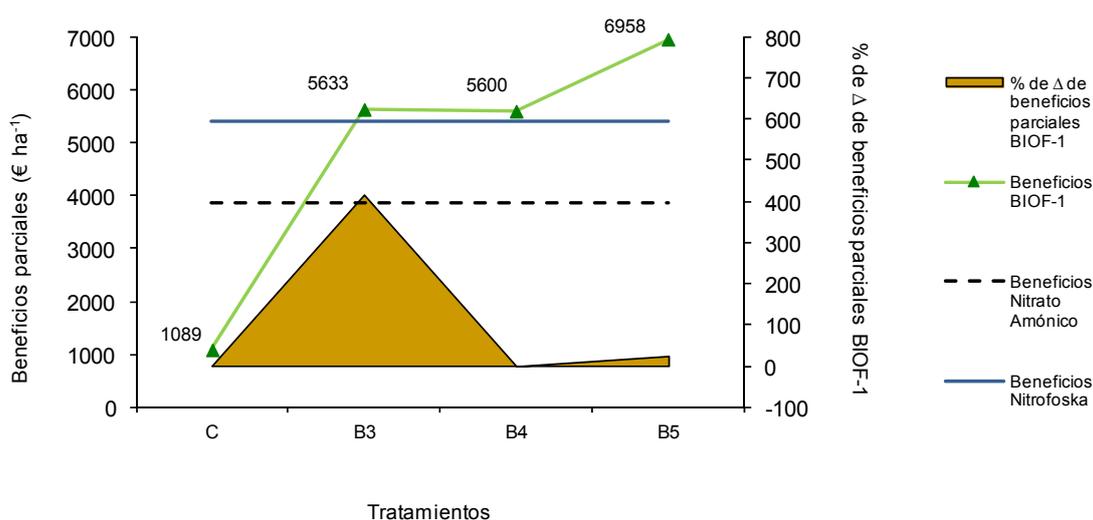


Figura 22

Beneficios parciales (€ ha<sup>-1</sup>) de todos los tratamientos fertilizantes y % de incremento ( $\Delta$ ) de beneficios parciales (%), de cada uno de los tratamientos orgánicos (BIOF-1) en los cultivos de primavera. B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>)

#### 4. Discusión

La producción de lechuga depende del clima, del suelo y de la variedad cultivada. Suele ser un cultivo más dependiente del clima que del suelo (Williams y Rice, 2006), siendo la temperatura y la luminosidad los dos factores más influyentes (Thicoïpé, 1997). Las condiciones climáticas durante el desarrollo de los distintos ensayos

fueron más desfavorables para las tres primeras cosechas (desde el mes de octubre hasta el mes de abril), sobre todo debido a las bajas temperaturas registradas (figuras 6, 7 y 10), lo que condicionó claramente las producciones obtenidas en general, que siempre estuvieron por debajo del peso potencial de las variedades utilizadas (< 500-600 g de peso fresco por unidad de lechuga) (figuras 13 y 17). De los cuatro ciclos de lechuga realizados, el abonado con BIOF-1 resultó ser más productivo en el segundo ciclo de primavera, que había recibido la fertilización tres meses antes y que coincidió con unas mejores condiciones de temperatura (figura 17).

Es difícil generalizar los datos obtenidos en ensayos en los cuales se comparan fertilizantes minerales y orgánicos (Diacono y Montemurro, 2009). Los nutrientes de los que dispone un abono orgánico no están en las mismas formas que en un abono mineral y su disponibilidad no es inmediata, por otro lado los abonos orgánicos mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo y pueden aportar micronutrientes. A pesar de las evidentes diferencias entre ambas formas de abonado, la mejor manera empírica de conocer el valor fertilizante de un abono orgánico es compararlo con el rendimiento del cultivo fertilizado con abonos inorgánicos (Tewolde et al., 2010).

En este estudio, tanto en el ciclo I de otoño como en el II, el abonado con estiércol de pollo (BIOF-1) fue competitivo con respecto al abonado mineral con nitrato amónico, siendo en el segundo ciclo claramente superior, alcanzándose cosechas comerciales (> 100 g de peso fresco por lechuga) a partir de la dosis más baja de BIOF-1 ( $266,7 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) (figura 13). Se produjo un incremento de peso fresco medio por unidad de lechuga en el tratamiento orgánico B1 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas abonadas con nitrato amónico (M) cercano al 20 % para el cultivo I de otoño y de más del 97 % para el cultivo II de invierno (tabla 5 y 6).

En los ciclos I y II de primavera se reprodujeron estos resultados frente al abonado con nitrato amónico a partir de dosis de  $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$  aportados con BIOF-1 ( $532,0 \text{ g m}^{-2}$ ). Nuevamente se produjo un porcentaje de incremento de peso fresco medio por unidad de lechuga en el tratamiento orgánico B3 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), respecto del peso fresco medio de las lechugas en las parcelas abonadas con nitrato amónico (M) cercano al 27 % para el cultivo I de primavera y de más del 51 % para el cultivo II de primavera (tabla 7 y 8).

Sin embargo, cuando se comparó el abonado BIOF-1 con el abono de síntesis de liberación lenta (Nitrofoska Stábil), los pesos frescos en el primer ciclo de primavera fueron superiores con el abono de síntesis. No ocurrió lo mismo en el segundo ciclo, en el cual los pesos frescos de las lechugas se incrementaron en las parcelas que recibieron BIOF-1 y fueron superiores a la fertilización mineral en ambas formas, gracias a su efecto residual (figura 17).

Masarirambi et al. (2012) también encontraron producciones comerciales más altas en el cultivo de lechuga empleando dosis de 20, 40 y  $60 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol de pollo

fresco frente al abonado con un fertilizante de síntesis 2:3:2 (22) + 0,5 de Zn. Ellos explicaron estos resultados debido al importante aporte de P y K que supone la fertilización con el estiércol de pollo, también debido a la menor retención de humedad del abono inorgánico frente al orgánico y a las conocidas mejoras de las propiedades físicas y químicas del suelo tras el aporte de abonos orgánicos. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por distintos autores que han aplicado estiércol de pollo en cultivos hortícolas (Rubeiz et al., 1998; Aliyu, 2000; Xu et al. 2005; Ghanbarian et al., 2008; Ouda y Mahadeen, 2008) y que han visto que se trata de un abono que da lugar a producciones similares o superiores a la fertilización con abonos minerales.

En el primer ciclo de primavera no se obtuvieron las producciones esperadas en esta época, ni siquiera se observaron diferencias al aumentar las dosis de BIOF-1 aplicadas. Es probable que la lenta descomposición del estiércol fuese la causa de estos resultados. La partida de BIOF-1 que se utilizó en este ensayo tenía un menor contenido en N de lo habitual en este producto (3,7 %), lo que obligó a utilizar dosis más elevadas, que tal vez se incorporaron con mayor dificultad en el suelo, lo que pudo producir que la flora microbiana fuese aprovechando el abono con mayor lentitud.

Esto mismo observaron los investigadores Oikeh y Asiegbu (1993) y Hammermeister et al., (2006), que tras haber aplicado altas dosis de estiércol de pollo en cultivo de tomate y lechuga, los rendimientos y el crecimiento de los cultivos fueron bajos, debido en este caso, a la lenta liberación de los nutrientes del estiércol, que necesitó de un periodo de tiempo más largo para transformarse y liberar nutrientes disponibles para las plantas. No sólo en cultivos hortícolas, sino también en cultivos como el maíz Terence et al., (2004) comprobaron este hecho, es decir, la necesidad de un tiempo más largo para que, con dosis altas de estiércol de pollo, se mineralicen los nutrientes y éstos estén disponibles para las plantas.

En ambos ciclos se pudo comprobar el efecto residual del estiércol de pollo frente a la fertilización mineral. En las segundas cosechas, los pesos frescos por unidad de lechuga fueron siempre superiores y estadísticamente diferentes en las parcelas abonadas con BIOF-1, incluso empleando dosis inferiores a 120 kg de N por hectárea (532,0 g m<sup>-2</sup>). Además siempre dieron lugar a cosechas comerciales con pesos frescos que superaron los 100 g por unidad de lechuga (figuras 13 y 17).

La cantidad de N aportado con el estiércol de pollo depende no solo del contenido total, sino de las formas que dominen en el mismo y de su relación C/N. La relación C/N del BIOF-1 era baja (7,7 y 11,4) en las dos partidas utilizadas en ambos ensayos, lo que facilitó que una parte importante del N se liberase durante la primera cosecha. Sin embargo, su alto contenido en N orgánico (80,8 %) explica que una parte importante del N del BIOF-1 se pudiese mineralizar y por tanto, estuviese disponible para ser aprovechado por la segunda cosecha, siendo suficiente para satisfacer las necesidades de la lechuga. Estos resultados concuerdan con los presentados por

Ribeiro et al. (2010) quienes, pasadas 7 semanas tras la aplicación de estiércol de pollo en cultivo de lechuga, comprobaron que la liberación de N al suelo fue mayor que la ocurrida con otros abonos orgánicos de mayor relación C/N. Rubeiz et al. (1992) apuntan en sus trabajos, que el estiércol de pollo seguía siendo efectivo para el cultivo de lechuga diez meses después de su incorporación al suelo.

El efecto residual del estiércol de pollo ha sido y es objeto de numerosos estudios. Se ha evaluado su efecto residual sobre la producción de distintos sistemas de cultivo y especies y sobre las propiedades del suelo (Bitzer y Sims, 1988; Nyakatawa et al., 2001; Malik y Reddy, 2002; Mitchell y Tu, 2005; Adeli et al., 2011; Tewolde et al., 2011). En ensayos de larga duración Mitchell y Tu (2005) encontraron que fertilizando con estiércol de pollo, se produjeron efectos residuales en el segundo año de aplicación que supusieron incrementos de producción del 30 al 50 % en algodón y del 25 al 65 % en grano de maíz. Adeli et al. (2011) mostraron que tras tres años de aplicación de estiércol de pollo en el cultivo de algodón, se produjeron incrementos de C, N y P en el suelo, además de mejorar la actividad microbiana del mismo, manteniendo su nivel de fertilidad en el tiempo. Destacan además, el potencial que el estiércol de pollo posee frente a los fertilizantes inorgánicos mejorando las propiedades del suelo.

Al analizar únicamente como influye la fertilización a base de BIOF-1 en el peso fresco de la lechuga, se pudo observar que en los ciclos de otoño la tendencia fue la misma en ambos: el peso fresco de las lechugas aumentó con la dosis aplicada, es decir con aporte de dosis crecientes de N, aunque no se produjeron diferencias entre las dosis de 80 y 120 kg de N ha<sup>-1</sup> (366,7 g m<sup>-2</sup> y 532,0 g m<sup>-2</sup>) (figura 13).

En el primer ciclo de primavera no se encontraron diferencias entre las dosis aplicadas de BIOF-1. Como ya se explicó con anterioridad esto pudo ser debido a la mala incorporación del abono en el suelo. La partida de BIOF-1 utilizada en los ensayos de primavera tenía un contenido de N más bajo de lo normal, lo que obligó a aportar dosis más altas de producto para suplir las exigencias de este elemento, lo que influyó en su descomposición para ser aprovechado por el primer cultivo (figura 17).

Sin embargo, en el ciclo II de primavera, 3 meses después de la aplicación de BIOF-1 y cuando las condiciones climáticas favorecieron la mineralización del producto, al aumentar la dosis de BIOF-1 también lo hizo la producción (figura 17). En este ciclo, la dosis de N y el peso fresco por unidad de lechuga estuvo bien relacionado ( $R^2 = 0,95$ ) a través de una función cuadrática ( $y = -26,896 \text{ BIOF}^2 + 259,62 \text{ BIOF} - 150,48$ ) (figura 19) como suele ocurrir en los modelos de producción, cumpliendo con la ley de los rendimientos decrecientes. El hecho de que el efecto del aporte de N responda a una función cuadrática quiere decir que el peso fresco de las lechugas se incrementa al aumentar la dosis de fertilizante, pero solo hasta determinado punto, a partir del cual, si aumenta la dosis, el peso fresco disminuye. En el segundo ciclo de primavera, el punto de inflexión de la curva, es decir la dosis

máxima a partir de la cual la producción empieza a descender fue de 4.826 g m<sup>-2</sup>. En los ensayos realizados en ningún caso se llegó al techo de producción, ni se observaron síntomas en el cultivo que demostrasen excesos de fertilización.

En ensayos de larga duración utilizando estiércol de pollo en cultivo de algodón, Mitchell y Tu (2005) también encontraron que la respuesta a la producción era mejor descrita por modelos cuadráticos, de tal manera que el 95 % del máximo de producción se originaba con dosis que variaban entre 175 y 193 kg de N ha<sup>-1</sup>. Ajustándose también a modelos cuadráticos, Tewolde et al. (2010) comprobaron que dosis por encima de los 90 kg ha<sup>-1</sup> de N en forma de nitrato amónico o con dosis de estiércol de pollo superiores a 6,7 Mg ha<sup>-1</sup> hacían descender la producción de fibra de algodón y contribuían además a generar problemas ambientales.

En el ciclo I de otoño, una dosis superior a los 80 kg de N ha<sup>-1</sup> (366,7 g m<sup>-2</sup>) en los bancales abonados con BIOF-1, originó una estabilización e incluso un descenso de la producción comercial de un 5 % en las dosis más altas (B3, 532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup> y B4, 1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>). De modo similar, Rincón et al., en 2002 cosecharon un número de lechugas comerciales inferior cuando la dosis de abonado mineral superó los 150 kg de N por hectárea. Esta situación se repitió en el ciclo I de primavera, donde no se encontraron diferencias significativas entre dosis de BIOF-1, es decir dosis mayores de 120 kg de N por hectárea (532,0 g m<sup>-2</sup>), no mejoraron el porcentaje de lechugas comerciales (figura 21). Hay que tener en cuenta que dosis elevadas de N pueden dar lugar a un retraso en la formación del cogollo de la lechuga (Wacquand y Le Bohec, 1982; Rincón et al., 2002).

En el ciclo II de invierno, así como en el ciclo II de primavera, el porcentaje de lechugas comerciales en los tratamientos orgánicos fue mucho mayor que en los restantes (figuras 20 y 21), invirtiéndose la tendencia anteriormente descrita. El fertilizante BIOF-1 se comportó como un abono de liberación gradual, dejando disponible un importante porcentaje de nitrógeno en las segundas cosechas fruto del efecto residual del abonado hecho dos meses antes. Es evidente que la fertilización orgánica con dosis superiores a 120 kg de N ha<sup>-1</sup> en el periodo otoño-invierno (532,0 g m<sup>-2</sup>) y primavera (634,7 g m<sup>-2</sup>) proporcionan nutrientes suficientes para dar un segundo ciclo con un alto porcentaje de lechugas comerciales.

El estudio de la rentabilidad económica del estiércol de pollo como fertilizante en cultivos agrícolas es una asignatura pendiente desde hace tiempo, de hecho, su utilización es habitual, pero hasta hace poco, no se valoraba económicamente. Las primeras valoraciones de este fertilizante se hicieron en Estados Unidos, fundamentalmente en cultivos extensivos, como el algodón o el maíz, obteniéndose resultados positivos frente a la fertilización convencional (Sistani et al., 2010).

En este caso se ha procedido a evaluar económicamente los resultados obtenidos en los ciclos de primavera, donde se usaron las dosis más altas de BIOF-1. Se aprecia claramente que cuando se aplican dosis mayores de 120 kg de N ha<sup>-1</sup> de BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup>), la eficiencia económica disminuye puesto que, si bien el

beneficio en términos absolutos siguió aumentando, el ritmo de crecimiento pasó a ser negativo, es decir cada vez creció menos el beneficio al aumentar la dosis orgánica aplicada. En el ciclo estudiado, el tratamiento económicamente más eficiente fue el B3 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ ), dado que con él se generaron más beneficios en términos absolutos (figura 22).

## 5. Conclusión

En los cuatro ciclos de lechuga estudiados, dos en condiciones climáticas más desfavorables (otoño-invierno) y dos en mejores condiciones (primavera), el abonado con BIOF-1, a cualquiera de las dosis aplicadas, garantizó la producción del cultivo de lechuga, tanto en peso fresco, como en número de lechugas comerciales, del mismo modo que el abonado mineral. Se demuestra pues, que el abonado con BIOF-1, en este cultivo de huerta en invernadero, resulta competitivo con los fertilizantes inorgánicos ensayados.

En cuanto a las recomendaciones de abonado con BIOF-1, el añadirlo para proporcionar  $532,0\text{-}634,7 \text{ g m}^{-2}$  ( $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) sería suficiente para obtener producciones superiores a las que resultan del abonado mineral convencional de lechuga en invernadero y en conjunto similares a las obtenidas con abonos de síntesis de liberación lenta.

El abono BIOF-1 tiene un efecto residual en la producción de lechuga, tanto en verano como en invierno, que se incrementa con la dosis. Esto repercute en la programación del abonado con este fertilizante, que permite realizar una única aplicación para la obtención de dos cosechas comerciales de este cultivo.

## 6. Referencias bibliográficas

- Acea, M.J.; T. Carballas. 1996. Microbial response to organic amendments in a forest soil. *Bioresour. Technol.* 57: 193-199.
- Adeli, A.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Tewolde, H. 2005. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. *Agron. J.* 97: 314-321.
- Adeli, A.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Tewolde, H. 2007. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 974-983.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Rowe, D.E.; Sistani, K.R. 2011. Continuous and Residual Effects of Broiler Litter Application to Cotton on Soil Properties. *Soil Sci.* 176(12): 668-675.

- Akers, J.B.; Harrison, B.T.; Mather, J.M. 1975. Drying of poultry manure - an economic and feasibility study. In: Proc. of the Third International Symposium on Livestock Wastes, Michigan, U.S.A. pp: 473-477.
- Aliyu, L. 2000. Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum anuum* L.). Biol. Agric. Hortic. 18: 29-36.
- Beegle, D.; Bosworth, J. 1997. Nutrient management. Agron. Facts. 16. pp: 5.
- Bitzer, C.C.; Sims, T. 1988. Estimating the availability of nitrogen in broiler litter through laboratory and field studies. J. Environ. Qual. 17: 47-54.
- Branco, A.A.; Couto, F.A.A. 1962. Observações sobre o efeito do azoto, fósforo e potássio na adubação da alfase. Olericultura, Viçosa. 2: 88-96.
- Broadley, R.M.; Seigner, I.; Burns, A.; Escobar-Gutiérrez, A.J.; Burns, I.G.; White, P.J. 2003. The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var capitata L.). J. Exp. Bot. 390(54): 2081-2090.
- Brown, J.E.; Dangler, J.M.; Gilliam, C.H.; Porch, D.W.; Shumack, R.L. 1994. Comparison of broiler litter and inorganic nitrogen, phosphorus, and potassium for double-cropped sweet corn and broccoli. J. Plant Nutr. 17(5): 859-867.
- Brye, K.R.; Slaton, N.A.; Norman, R.J.; Savin, M.C. 2004. Short-term effects of poultry litter form and rate on soil bulk density and water content. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 2311-2325.
- Carballas, M.T.F. 1996. Caracterización de residuos ganaderos. Monografía: Residuos ganaderos y medio ambiente. Ed. Fundación Semana Verde de Galicia. Silleda, Pontevedra. pp: 15-30.
- Chapman, H.D.; Pratt, P.F., Eds. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences Bulletin 4034.
- De Pinheiro, A.R.E.; Marcelis, L.F.M. 2000. Regulation of Growth at Steady-state Nitrogen Nutrition in Lettuce (*Lactuca sativa* L.): Interactive Effects of Nitrogen and Irradiance. Ann. Bota-London. 86: 1073-1080.
- Diacono, M.; Montemurro. 2009. Long-term effects of organic amendemnts on soil fertility. A review. Agron. Sustain. Dev. 30(2): 401-422.
- Doerge, T.A.; Roth, R.L.; Gardner, B.R. 1991. Nitrogen fertilizer management in Arizona. Univ. of Arizona, College of Agric. Rpt. 191025.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-base manure and compost applications. Agron. J. 94: 128-135.

- El Nadi, A.H.; Rabie, R.K.; Abdel-Magid, H.M.; Sabrah, R.E.A.; Abdel-Aal, Sh.I. 1995. Chemical, physico-chemical and microbiological examination of town refuse compost and chicken manure as organic fertilizers. *J. Arid Environ.* 30: 107-113.
- Evers, G.W. 1999. Comparison of broiler poultry litter and commercial fertilizer for coastal bermudagrass production in the southeastern U.S. *J. Sustain. Agric.* 12 :55-57.
- FAOSTAT. 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Último acceso: 14/08/2012.
- Gardner, B.R.; Pew, W.D. 1972. Response of fall grow head lettuce to nitrogen fertilization. Arizona Agricultural Experimental Station (Technical Bulletin 199).
- Gascho, G.J.; Hubbard, R.K. 2006. Long-term impact of broiler litter on chemical properties of a Coastal Plain soil. *J. Soil Water Cons.* 61: 65-74.
- Ghanbarian, D.; Youneji, S.; Fallah, S.; Farhadi, A. 2008. Effect of broiler litter on physical properties, growth and yield of two cultivars of Cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *Int. J. Agric. Biol.* 10: 697-700.
- Hamdar, B.C.; Rubeiz, I.G. 2000. Organic farming: economic efficiency approach of applying layer litter rates to greenhouse grown strawberries and lettuce. *Small Fruits Rev.* 1(1): 3-14.
- Hammermeister, A.M.; Astatkie, T.; Jeliaskova, A.; Warman, P.R.; Martin, R.C. 2006. Nutrient supply from organic amendments applied to unvegetated soil, lettuce and orchardgrass. *Can. J. Soil Sci.* 86(1): 21-23.
- Hemphill, J.R.; Jackson, T.L. 1982. Effect of soil acidity and nitrogen on yield and elemental concentration of bush bean, carrot and lettuce. *J. Amer. Soc. Hor. Sci.* 107: 40-744.
- Jackson, B.P.; Bertsch, P.M.; Cabrera, M.L.; Camberato, J.J.; Seaman, J.C.; Wood, C.W. 2003. Trace element speciation in poultry litter. *J. Environ. Qual.* 32: 535-540.
- John, N.M.; Adeoye, G.O.; Sridhar, M.K.C. 1996. Compost pelletization eases end use in Nigeria. *Biocycle.* 37(6): 55-56.
- Kissel, D.E.; Risse, M.; Sonon, L.; Harris, G. 2008. Calculating the fertilizer value of broiler litter. University of Georgia, Cooperative Extension Circle C933. Disponible en: <http://pubs.caes.uga.edu/caes-pubs/pubs/PDF/C933.pdf>. Último acceso: 20/01/2009.
- Koerner, I.; Trevino-Garza, E.; Stegmann R. 2003. Concepts for the treatment of chicken manure: Investigations regarding the production of agglomerats. *Proceedings of ORBIT.* pp: 805-817.

- MAGRAMA, 2002. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 13/01/2013.
- MAGRAMA, 2005. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 13/01/2013.
- MAGRAMA, 2011. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 13/01/2013.
- Malik, R.K.; Reddy, C. 2002. Effects of long-term poultry litter application to cotton on succeeding corn crop production. *J. Sust. Agric.* 19:47-59.
- Masarirambi, M.T.; Dlamini, P.; Wahome, P.K.; Oseni, T.O. 2012. Effects of Chicken Manure on Growth, Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) "Taina" Under a Lath House in a Semi-Arid Sub-Tropical Environment. *American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci.* 12(3): 399-406.
- Mercasa, 2002. Mercados mayoristas de España Sociedad Anónima. Disponible en: [www.mercasa.es](http://www.mercasa.es). Último acceso: 12/11/2013.
- Mitchell C.C.; Tu, S. 2005. Long-Term Evaluation of Poultry Litter as a Source of Nitrogen for Cotton and Corn. *American Society of Agronomy. Agron. J.* 97(2): 399-407.
- Naredo, J.M. 2001. La modernización de la agricultura española y sus repercusiones ecológicas. En: *Naturaleza transformada*. Eds. M. González de Molina y J. Martínez Alier. Icaria editorial, Barcelona. pp: 342.
- Navas, J.A.B.; López, M.R. 2000. Cultivos hortícolas I: técnicas de cultivo. 4ª edición. Ed. Consejería de agricultura y pesca de Andalucía. pp: 183.
- Nyakatawa, E.Z.; Reddy, K.C.; Sistani, K.R. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil Tillage Res.* 58: 69-79.
- Oikeh, S.O.; Asiegbu, J.E. 1993. Growth and yield responses of tomatoes to sources and rates of organic manures in ferralitic soils. *Bioresour. Technol.* 45(1): 21-25.
- Ouda, B.A.; Mahadeen, A.Y. 2008. Effects of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in Broccoli (*Brassica oleracea*) *Int. J. Agric. Biol.* 10: 627-632.

- Pratt, R.G.; Tewolde, H. 2009. Soil fungal population levels in cotton fields fertilized with poultry litter and their relationships to soil nutrient concentrations and plant growth parameters. *Appl. Soil Ecol.* 41: 41-49.
- Reglamento (CE) Nº 1543/2001. Comisión europea del 27 de junio de 2001.
- Ribeiro, H.M.; Fanqueiro, D.; Alves F.; Coelho, D.; Vasconcelos, Cunha-Queda, E.C.; Coutinho, J.; Cabral, F. 2010. Nitrogen mineralization from an organically managed soil and nitrogen accumulation in lettuce. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 173(2): 260-267.
- Richards, L.A. (Ed.) 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Lab., US Department of Agriculture Handbook 60. California, USA.
- 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. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 17: 303-318.
- Roberson, T.; Reddy, K.C.; Reddy, S.S.; Nyakatawa, E.Z.; Rape, R.L.; Reeves, D.W.; Lemunyon, J. 2008. Carbon dioxide efflux from soil with poultry litter application in conventional and conservation tillage systems in northern Alabama. *J. Environ. Qual.* 37: 535-541.
- Rubeiz, I.G.; Farran, M.T.; Khoury, R.Y.; Al-Assir, I.A. 1992. Comparative evaluation of broiler and layer poultry manure for greenhouse lettuce production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23(7/8): 725-731.
- Rubeiz, J.G.; Khansa, M.; Freiwat, M.M. 1998. Evaluation of layer litter rates as a fertilizer for greenhouse strawberry and lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(1-2): 161-167.
- Sistani, K.R.; Brink, G.E.; Adeli, A.; Tewolde, H.; Rowe, D.E. 2004. Year-round soil nutrient dynamics from broiler litter application to three bermudagrass cultivars. *Agron. J.* 96(2): 525-530.
- Sistani, K.R.; Adeli, A.; Johnson, J.R.; Rowe, D.E.; Tewolde, H. 2010. Equivalency of broiler litter to ammonium nitrate as a cotton fertilizer in an upland soil. *Am. Society Agron. Agron. J.* 102(1): 251-257.
- Terence, P.; Gonigle, Mc.; Beauchamp, G.E. 2004. Relation of yield of corn (*Zea mays* L.) to nitrogen in shoot and soil during the early season following manure application to field plots. *Can. J. Soil Sci.* 84(4): 481-490.
- Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E. 2005a. Broiler litter as a micronutrient source for cotton: Concentrations in plant parts. *J. Environ. Qual.* 34: 1697-1706.
- Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E. 2005b. Broiler litter as a sole nutrient source for cotton: Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium concentrations in plant parts. *J. Plant Nutr.* 28: 605-619.

- Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Adeli, A.; Johnson, J.R. 2007. Lint yield and fiber quality of cotton fertilized with broiler litter. *Agron. J.* 99: 184-194.
- Tewolde, H.; Adeli, A.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E.; Johnson, J.R. 2010. Equivalency of Broiler Litter to Ammonium Nitrate as a Cotton Fertilizer in an Upland Soil. *Agron. J.* 102(1): 251-257.
- Tewolde, H.; Adeli, A.; Rowe, D.E.; Sistani, K.R. 2011. Cotton Lint Yield Improvement Attributed to Residual Effect of Repeated Poultry Litter Application. *Agron. J.* 103 (1): 107-112.
- Thicoipé, J.P. 1997. *Laitues-Monographie*. Ctifl (Ed.). Serail. pp: 281.
- Thomas, R.L.; Sheard, R.W.; Moyer, J.R. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analyses of plant tissue using a single digestion. *Agron. J.* 59: 240-243.
- Wacquand, C.; Le Bohec, J. 1982. *Laitues de serre*. París: Ctifl. Monografía. pp: 148.
- Williams, L.; Rice, R.P. 2006. *Practical Horticulture*. 6<sup>a</sup> Ed. Pearson Prentice Hall. pp: 482.
- WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Nº. 103. FAO, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/011/a0510s/a0510s00.htm>. Último acceso: 21/09/2012.
- Xu, H.L.; Wang, R.; Xu, R.Y.; Mridha, M.A.U.; Goyal, S. 2005. Yield and quality of leafy vegetables grown with organic fertilizations. *Acta Hort.* 627: 25-33.



**Concentración de nitrato en cultivos de lechuga de otoño y de primavera fertilizados con estiércol deshidratado y granulado de pollo**

## Concentración de nitrato en cultivos de lechuga de otoño y de primavera fertilizados con estiércol deshidratado y granulado de pollo

---

### Resumen

Se estudió el efecto de la aplicación de BIOF-1, un estiércol deshidratado y granulado de pollo, en comparación con abonado mineral, sobre la concentración de nitrato en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Galicia en dos ensayos de invernadero, uno en época de alta luminosidad y otro en época de baja luminosidad (dos ciclos consecutivos en cada época). El abono orgánico se incorporó en una sola aplicación al comienzo del primer ciclo en ambos ensayos, lo que permitió estudiar el efecto residual en la segunda cosecha.

El BIOF-1 influyó de forma directa sobre la concentración de nitrato en planta, tanto en hojas internas como externas de las lechugas, de forma que a mayor dosis de abono orgánico, mayor fue la concentración del ión. Las hojas de lechuga, especialmente las externas, acumularon mayores cantidades de nitrato en el ciclo de cultivo de invierno, la época de menor luminosidad. Tanto en los tratamientos de fertilización mineral como en los de BIOF-1, en los dos ensayos, la concentración de nitrato estuvo siempre por debajo de los límites establecidos por la legislación europea para lechugas cultivadas en invernadero, si bien en invierno dosis de 1064 g m<sup>-2</sup> llevaron a una acumulación de nitrato en hojas externas cercana a ese límite, por lo que por precaución, para asegurar el cumplimiento de la normativa, se recomienda no aplicar dosis de BIOF-1 superiores a 1000 g m<sup>-2</sup>, equivalentes a 240 kg de N por ha ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>, en épocas de baja luminosidad.

**Palabras clave:** efecto residual, estiércol de pollo, fertilización orgánica, *Lactuca sativa* L., nitrato en savia

### 1. Introducción

---

Las hortalizas constituyen la principal fuente de nitrato de la dieta, proporcionando generalmente entre 300 y 940 mg g<sup>-1</sup> de la ingesta diaria (Santamaria, 2006), lo que pueden suponer hasta el 80-92 % de la ingestión media diaria (Prasad y Chetty, 2008). En la planta, los nitratos absorbidos de la disolución del suelo son reducidos

por acción de la enzima nitrato reductasa para suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, pero algunos cultivos hortícolas de aprovechamiento foliar, entre los que se encuentra la lechuga, tienden a acumular nitrato en las hojas cuando la absorción excede a la reducción dentro de la planta (Hewitt, 1975).

Durante mucho tiempo se ha considerado que el consumo de alimentos con alta concentración de nitrato puede tener efectos desfavorables sobre el organismo humano. El ión nitrato no es tóxico, pero aproximadamente el 5 % del nitrato total ingerido se transforma en nitrito, que sí lo es (Spiegelhalder et al., 1976; Pannala et al., 2003). El efecto más conocido del ión nitrito es su habilidad para reaccionar con la hemoglobina y formar metahemoglobina, que no puede transportar oxígeno a los tejidos. Cuando el porcentaje de metahemoglobina alcanza el 10 % de los niveles normales de hemoglobina, aparecen síntomas clínicos que van desde la cianosis (coloración azul de la piel) hasta sensación de asfixia y sofocación, condición que se conoce como metahemoglobinemia o síndrome del niño azul, debido a que los lactantes de menos de tres meses son los más susceptibles de padecerlo (Santamaria, 2006).

Otros trabajos parecen indicar, sin embargo, que la ingestión de nitratos podría no estar relacionada con la metahemoglobinemia, sino que ésta sería un efecto secundario de la gastroenteritis, que puede deberse a una bacteria o un virus (Addiscott y Benjamin, 2004).

Por otra parte, los nitritos pueden unirse a otras sustancias antes o después de la ingestión (por ejemplo aminas o amidas) formando compuestos de N nitroso, como las nitrosaminas, que son potencialmente cancerígenos y mutágenos (Magee y Barnes, 1956; Mirvish, 1977; Hotchkiss y Cassens, 1987). La relación entre cáncer y nitratos también es objeto de controversia.

Ante las evidencias científicas contradictorias sobre la posible toxicidad o inocuidad de los nitratos para la salud humana, se acepta generalmente que debería evitarse consumir por un tiempo prolongado verduras con un contenido de nitrato que supere la ingesta diaria admisible (Boink y Speijers, 2001). Por ello, y teniendo en cuenta que gran parte de los nitratos ingeridos por el hombre provienen de alimentos de origen vegetal, el reglamento (UE) N<sup>o</sup> 1258/2011 establece concentraciones máximas en nitrato para lechugas cultivadas al aire libre y en invernadero según la época de cosecha, siendo éste un factor de calidad a tener en cuenta para su comercialización. Los límites marcados por esta legislación, para lechugas de tipo distinto a Iceberg cultivadas en invernadero o al aire libre, son respectivamente (en base a peso fresco): 5000 y 4000 mg NO<sup>-3</sup> kg<sup>-1</sup> para lechugas cosechadas desde el 1 de octubre al 31 de marzo, y 4000 y 3000 mg NO<sup>-3</sup> kg<sup>-1</sup> para lechugas cosechadas desde el 1 de abril al 30 de septiembre. Este reglamento europeo se centra en la lechuga (*Lactuca sativa* L.), junto con la espinaca y la rúcula, debido a que son cultivos que pueden concentrar altas cantidades de nitratos (Santamaria, 2006).

Los factores que más influyen en la concentración de nitrato en los cultivos hortícolas de hoja son la intensidad de luz y la fertilización nitrogenada (Cantliffe, 1973). En ciclos de cultivo con baja radiación global (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja (la capacidad fotosintética se reduce) (Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985; Blom-Zandstra, 1989; Tei, 2003), dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en planta (Steingröver et al., 1993). Por contra, en ciclos de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera), la actividad de la nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración de nitrato en hojas (Rozek y Wojciechowska, 1990). En cuanto a la fertilización, es importante el calendario de aplicación del nitrógeno (Tesi y Lenzi, 1998), la proporción de amonio o nitrato presente en el fertilizante (McCall y Willumsen, 1998; Demsăr y Osvald, 2003) y el tipo de fertilización, mineral u orgánica.

Entre los fertilizantes orgánicos que se pueden aplicar en cultivos hortícolas está el estiércol de pollos de engorde que es especialmente rico en nitrógeno (Chadwick et al., 2000). En particular, el estiércol deshidratado y granulado de pollo puede ser un recurso fertilizante de gran valor para aportar nitrógeno y otros nutrientes a cultivos intensivos en invernadero. Los resultados del capítulo I de esta memoria mostraron que el 80 % del N total del estiércol de pollo deshidratado y granulado de pollo es N orgánico, pero que, dada la baja relación C/N de este estiércol, puede considerarse fácilmente mineralizable. Es necesario, por tanto, garantizar que el uso de este abono no suponga un incremento perjudicial de nitratos en el suelo de cultivo que lleve a una acumulación en planta.

El objetivo de este capítulo fue estudiar los efectos de diferentes dosis de BIOF-1 (un fertilizante comercial de estiércol deshidratado y granulado de pollo), en comparación con abonado mineral, sobre la concentración de nitrato en cultivo de lechuga en invernadero en épocas de aja y alta luminosidad en Galicia.

## 2. Material y métodos

Los efectos de la aplicación de estiércol deshidratado y granulado de pollo en el contenido en nitrato en hoja se estudiaron en cuatro ciclos de lechuga cultivados en invernadero, cosechando dos cultivos sucesivos en otoño-invierno y otros dos en primavera. El diseño de los ensayos, las principales características del suelo de cultivo y la metodología de establecimiento de bancales, aplicación de tratamientos de fertilización, variedad y marco de plantación del cultivo, control de temperatura del invernadero, riego y fechas de recolección se explican en detalle en el capítulo II de esta memoria.

Brevemente, en bancales de 6 x 1 m<sup>2</sup> y 0,3 m de altura, se aplicaron al azar seis tratamientos fertilizantes (3 bancales por tratamiento): control sin fertilizar (C), aplicación de 58,5 g m<sup>-2</sup> de nitrato amónico (20,5 % de N) para suministrar 120 kg N ha<sup>-1</sup> (M), y aplicación de 4 dosis del producto comercial de estiércol deshidratado y

granulado de pollo BIOF-1 (266,7, 366,7, 532,0 y 1064,0 g m<sup>-2</sup>, para proporcionar respectivamente 60, 80, 120 y 240 kg N ha<sup>-1</sup> (B1, B2, B3 y B4)).

El 10 de octubre de 2001 se plantó el primer ciclo otoño-invierno de lechuga, estableciendo en cada bancal 60 plántulas de 3-4 hojas, en triple hilera, del cultivar 'Santa Cruz', que se recolectaron el 27 de noviembre de 2001.

Un mes más tarde, el 28 de diciembre, se plantó el segundo ciclo de lechuga con plántulas del cultivar Plenty, una variedad de invierno con mejor tolerancia que 'Santa Cruz' a bajas temperaturas, sin realizar ningún abonado adicional, dependiendo el cultivo del posible efecto residual de los tratamientos fertilizantes realizados inicialmente, con el primer ciclo de lechuga, en octubre. Las lechugas de este segundo ciclo de cultivo se recogieron el 27 de febrero de 2002.

Manteniendo la misma estructura de bancales, instalación de riego por goteo y acolchado que en los cultivos de otoño-invierno, se diseñó un segundo ensayo para estudiar el potencial fertilizante a corto plazo y residual de tres dosis de BIOF-1 (B3, B4 y B5) en el cultivo de lechuga en primavera, en comparación con un control no abonado (C) y dos tratamientos minerales (M y Nf). Se llevaron a cabo para ello dos ciclos consecutivos.

Se mantuvo la misma distribución de tratamientos fertilizantes en los bancales que en el ensayo de otoño-invierno, se siguió utilizando el fertilizante mineral nitrato amónico (M, 58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), y se hizo uso de un nuevo fertilizante nitrogenado de liberación lenta, Nitrofoska Stábil (Nf, 100 g m<sup>-2</sup>), en los bancales donde inicialmente se había aplicado la dosis más baja de BIOF-1 (B1), proporcionando 120 kg N ha<sup>-1</sup>. También se eliminó el tratamiento B2, aunque se siguieron utilizando las dos dosis más altas de BIOF-1 (B3, 634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup> y B4, 1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>), del ensayo de otoño-invierno. Y se aplicó una nueva dosis de abono orgánico BIOF-1 (B5, 1904,0 g m<sup>-2</sup>), incrementando el aporte de N hasta los 360 kg ha<sup>-1</sup>, para intentar encontrar el techo de producción de este cultivo en primavera.

Tras el abonado, el 17 de marzo de 2002 se realizó la plantación de lechuga, utilizando el cultivar 'Santa Cruz', que se recolectó el 30 de abril. El 11 de mayo se estableció un segundo ciclo de lechuga de primavera, sin aportar ningún tipo de abonado en ningún tratamiento, plantando el cultivar 'Hades', que se recolectó el 26 de junio de 2002.

La radiación media anual recibida por el cultivo de otoño fue de 161 cal cm<sup>-2</sup> día, mientras que, para el cultivo de primavera, esta radiación media aumentó hasta 310 cal cm<sup>-2</sup> día.

### *2.1. Recogida y análisis de muestras de planta*

En la fecha de recolección de cada cultivo, entre las 9 y las 12 h de la mañana, se cogieron al azar 5 lechugas situadas en la fila central de cada bancal para la determinación en fresco del contenido de nitrato en savia. Todas las lechugas se cortaron a nivel de superficie.

En el laboratorio se separaron hojas internas (de color amarillo/verde muy claro) y externas (de color verde), que fueron prensadas, según la metodología propuesta por Alt y Füll (1988), para obtener un extracto en el que se determinó la concentración de nitrato mediante un electrodo selectivo CRISON (Consalteri et al., 1992).

### *2.2. Análisis de datos*

Los datos se sometieron a un análisis de varianza con un solo factor, Anova I. Las medias se compararon mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS), comprobando previamente si los datos eran normales (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y efectuando la prueba de homogeneidad de la varianza de Levene. Se empleó el paquete estadístico SPSS 17.0.

Se estimó también la relación entre la dosis de BIOF-1 y la concentración de nitrato en hoja (por separado para hojas internas y externas) para cada ciclo de cultivo mediante un análisis de regresión, utilizando el menor valor de la varianza residual y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) como criterios para la selección de la ecuación con mejor bondad de ajuste.

## **3. Resultados**

### *3.1. Cultivos de otoño-invierno*

Las concentraciones de nitrato en savia en hojas externas e internas en el ciclo de lechuga I, de otoño, y II, de invierno, se presentan en la figura 1. La concentración de nitrato tanto en hojas externas como internas fue inferior en el ciclo I de otoño respecto al ciclo II de invierno en el control y en todos los tratamientos.

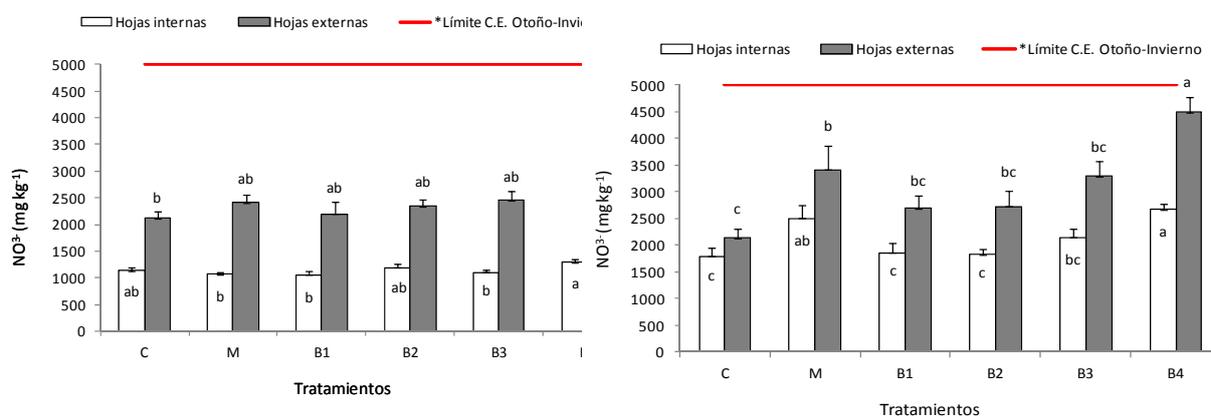


Figura 1

Concentración de nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$  de peso fresco) en savia en hojas externas e internas de lechuga según tratamientos en el ciclo I de otoño y el ciclo II de invierno. C: control; M: Nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B1: BIOF-1 ( $266,7 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B2: BIOF-1 ( $366,7 \text{ g m}^{-2} \sim 80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B3: BIOF-1 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4: BIOF-1 ( $1064,0 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . \*Límite C.E.: cantidad máxima de nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) establecida por el Reglamento (UE) N° 1258/2011 para cultivos de lechuga cosechados del 1 de octubre al 31 de marzo

Dentro de cada ciclo, y para cada tratamiento, las hojas externas presentaron siempre mayor concentración de nitrato que las hojas internas. Esta diferencia entre los dos tipos de hoja fue particularmente significativa en el caso del ciclo I de otoño, en el que el nivel de nitrato en hojas externas duplicó al de las hojas internas, tanto en el control como en los tratamientos que recibieron fertilizantes (mineral u orgánico).

En el ciclo I de otoño, hubo pocas diferencias en la concentración de nitrato en hojas debidas a los tratamientos de fertilización, tanto en hojas externas como internas.

Sin embargo en el ciclo II de invierno, la concentración de nitrato en hojas externas fue más alta en el tratamiento B4 que en el control y el resto de tratamientos (mineral, B1, B2 y B3), no apreciándose diferencias entre el tratamiento mineral y el abonado con dosis más bajas de BIOF-1 (B1, B2 y B3). En hojas internas, la concentración más alta de nitrato se encontró en el tratamiento mineral y en B4, mientras que las lechugas cultivadas en los tratamientos B1, B2 y B3 presentaron niveles de nitrato similares a los del control y significativamente más bajos que los de los tratamientos mineral y B4.

En ambos ciclos de otoño-invierno, y sobre todo en el de otoño, la concentración de nitrato en hojas internas estuvo muy por debajo del límite establecido por el Reglamento (UE) N° 1258/2011 para este periodo del año ( $5.000 \text{ mg kg}^{-1}$  para cultivos de lechuga cosechados del 1 de octubre al 31 de marzo en invernadero) (figura 1).

En las hojas externas de las lechugas, la concentración de nitrato también fue inferior al límite en todos los tratamientos en ambas cosechas, si bien las lechugas del ciclo II de invierno presentaron valores muy cercanos al permitido para este ión por la legislación europea (figura 1).

### 3.2. Cultivos de primavera

Al igual que se observó en los cultivos de otoño-invierno, la concentración de nitrato tanto en hojas externas como internas, fue más baja en el segundo ciclo de primavera que en el primero en el control y en los tratamientos que recibieron abono mineral y orgánico.

La concentración de nitrato en hojas externas e internas de los dos ciclos de lechuga de primavera fue muy inferior a la de los cultivos de otoño-invierno y, sobre todo en el segundo ciclo de cultivo, en todos los tratamientos estuvo muy por debajo del límite impuesto por la Unión Europea para esta hortaliza ( $4.000 \text{ mg kg}^{-1}$  para cultivos de lechuga cosechados del 1 de abril al 30 de septiembre en invernadero) (figura 2).

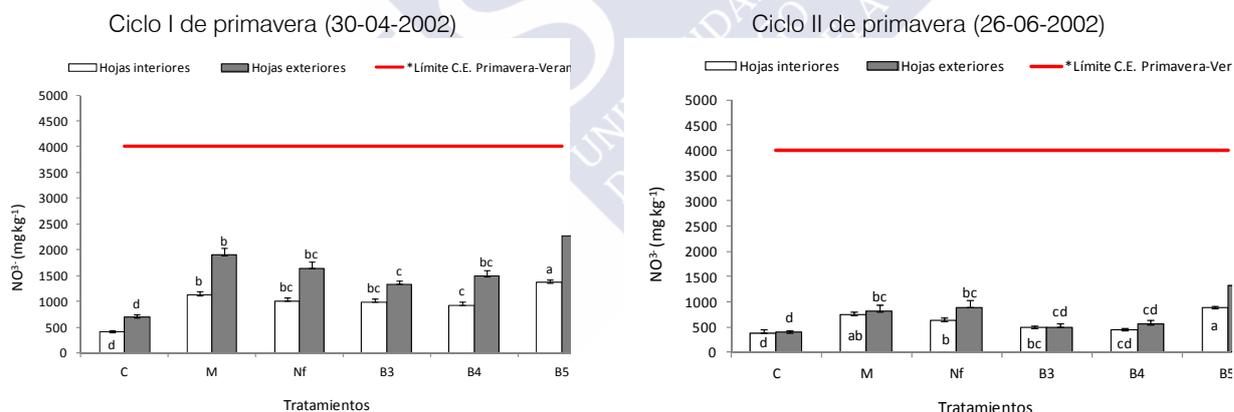


Figura 2

Concentración de nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$  de peso fresco) en savia en hojas externas e internas de lechuga según tratamientos en el ciclo I de primavera y en el ciclo II de primavera. C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . \*Límite C.E.: cantidad máxima de nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) establecida por el Reglamento (UE) N° 1258/2011 para cultivos de lechuga cosechados del 1 de octubre al 31 de marzo

Las hojas externas presentaron mayor concentración de nitrato que las hojas internas en todos los tratamientos del ciclo I de primavera, pero no en el ciclo II. En éste, los niveles de nitrato en hojas externas e internas fueron similares en el control y en los tratamientos M, B3 y B4, y solo en el tratamiento mineral Nf y en el de dosis

más alta de BIOF-1 (B5) las hojas externas presentaron una mayor concentración de nitrato que las internas.

En el ciclo I de primavera, todos los tratamientos de fertilización llevaron a la obtención de lechugas con una concentración de nitrato significativamente superior a la del control, tanto en hojas externas como internas. Las concentraciones más elevadas se observaron en el tratamiento B5.

En este primer ciclo de primavera, en ambos tipos de hojas, la concentración de nitrato fue similar en los dos tratamientos que recibieron fertilizantes minerales (M y Nf). En las hojas externas el nivel de nitrato en el tratamiento M fue más alto que en B3, pero igual al obtenido en B4, mientras que en las hojas internas los nitratos en el tratamiento M superaron a los de B4, siendo iguales a los de B3.

En el ciclo II de primavera, la concentración de nitrato en ambos tipos de hoja presentó valores inferiores a los 1000 mg kg<sup>-1</sup> en el control y en todos los tratamientos que recibieron abono mineral u orgánico, con excepción del tratamiento con la dosis más alta de BIOF-1 (B5) en el que las hojas externas mostraron un valor cercano a 1500 mg kg<sup>-1</sup>. Fueron particularmente bajos (en torno a los 500 mg kg<sup>-1</sup>) los niveles de nitrato en ambos tipos de hojas en lechugas cosechadas en el control y en los tratamientos B3 y B4.

### *3.3. Relación entre las dosis de abonado con BIOF-1 y la concentración de nitrato en lechuga*

La relación entre la dosis de BIOF-1 y la concentración de nitrato tanto en hojas externas como internas de lechuga se ajustó a ecuaciones de tipo polinómico de segundo grado  $P_i = a(D)^2 + b(D) + c$  (figuras 3), donde  $P_i$  es la concentración de nitrato en planta en mg kg<sup>-1</sup> y  $D$  la dosis de BIOF-1 aportada en kg ha<sup>-1</sup>. Hubo una muy buena correlación entre la dosis del abono y el contenido en nitrato de hojas externas e internas de lechuga tanto en los cultivos de otoño-invierno como en los de primavera, con coeficientes de determinación superiores a 0,99.

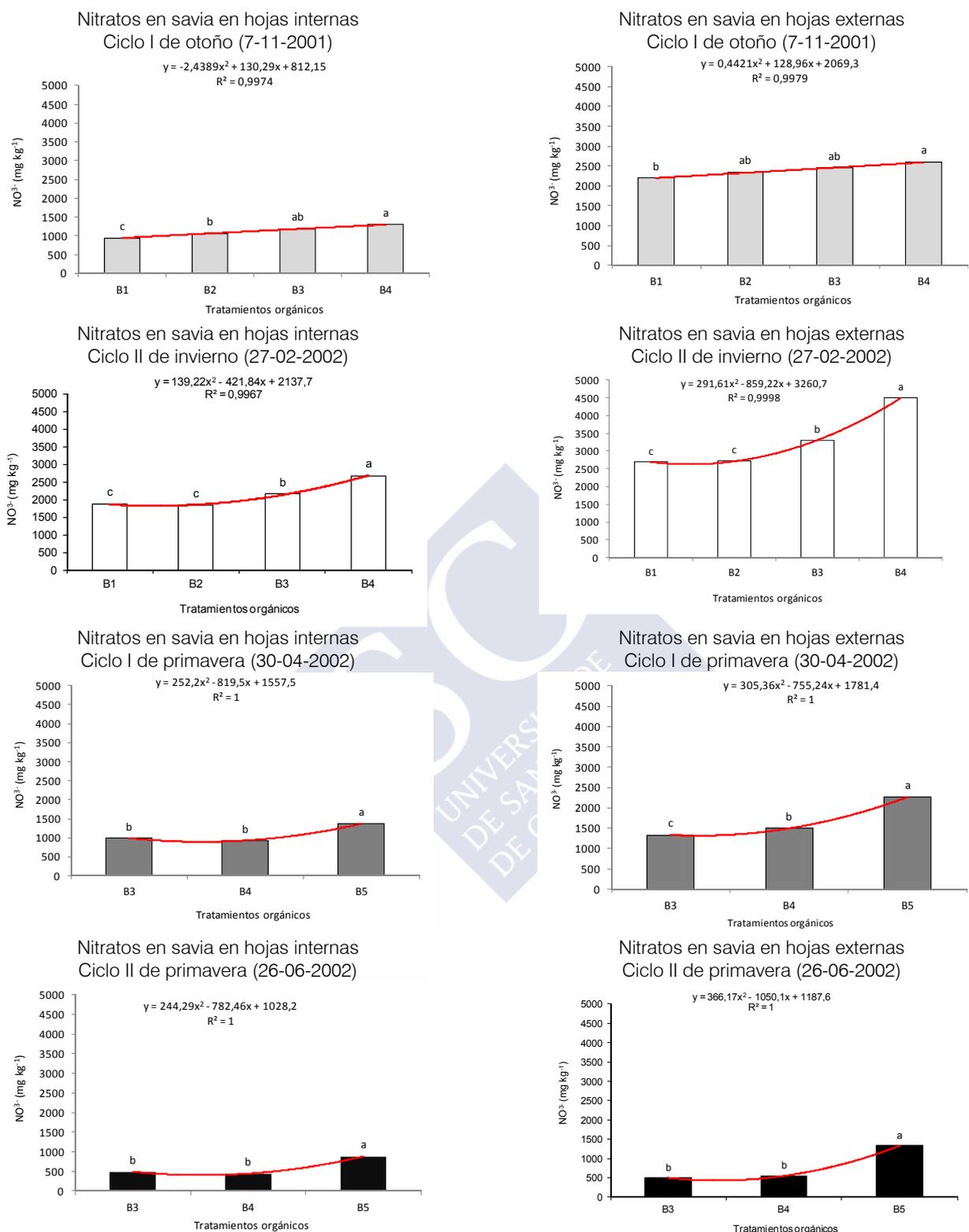


Figura 3

Relación entre la dosis de aplicación de BIOF-1 y la concentración de nitrato en savia en hojas internas y externas de lechuga en los cultivos de otoño-invierno. C: control; M: Nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B1: BIOF-1 ( $266,7 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B2: BIOF-1 ( $366,7 \text{ g m}^{-2} \sim 80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B3: BIOF-1 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4: BIOF-1 ( $1064,0 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Y en los cultivos de primavera. C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$

#### 4. Discusión

Las concentraciones de nitrato en hojas externas de lechuga fueron más elevadas, tanto en parcelas control como en las que recibieron abono mineral (nitrato amónico) u orgánico (distintas dosis de BIOF-1), en el ciclo de otoño y sobre todo en el de invierno (en el que se registraron las concentraciones más altas) respecto a los cultivos de primavera, como cabría esperar, dado que la radiación global es el factor ambiental que más influencia tiene sobre la concentración del ión nitrato en lechuga (Roorda van Eysinga y van der Meijs, 1985; Steingröver et al., 1993).

A medida que disminuye el fotoperiodo y la luminosidad, con los días más cortos y niveles de intensidad de luz más bajos en invierno, la actividad fotosintética se reduce, por menor actividad de la nitrato reductasa (Appenroth et al., 2000); como consecuencia, disminuye la tasa de incorporación de los nitratos que la planta absorbe a moléculas orgánicas, pudiéndose producir una acumulación de nitrato en planta en condiciones de alta disponibilidad del ión en el suelo (Burns et al., 2004). Es por ello que los límites máximos permitidos de nitrato son más altos en cultivos de lechuga de otoño-invierno o en invernadero que en primavera (Gunes et al., 1995).

Tanto en los cultivos de primavera como, sobre todo, en los de otoño-invierno, las hojas externas de las lechugas concentraron una cantidad de nitratos mucho más alta que las que formaban parte del cogollo. Aunque algunos autores han observado lo contrario en variedades de lechuga de cogollo muy cerrado (Krohn et al., 2003), es decir mayor contenido de nitratos en hojas internas que en las externas, son mayoría los trabajos en los que las hojas externas, más viejas, acumulan el doble o incluso más del triple que las internas (Byrne et al., 2001; Rincón et al., 2002; Demsär et al., 2004; Abu-Rayyan et al., 2004).

Tras su absorción por las raíces, los iones nitrato son transportados por vía apoplástica en el xilema hasta las hojas. En las células, la mayoría de los iones nitrato (en torno al 90 % del total de nitrato celular) se almacenan en las vacuolas (Miller y Smith, 1996; Chen et al., 2004). El nitrato de las vacuolas es rápidamente movilizado cuando la actividad de la nitrato reductasa es alta en condiciones de alta intensidad luminosa (Cookson et al., 2005), como ocurre en primavera. La actividad de esta enzima alcanza su nivel más alto cuando la tasa de expansión de las hojas es máxima (como sucede en hojas jóvenes) pero muestra una actividad muy baja en hojas totalmente expandidas (Reed et al., 1980). Esto puede limitar la utilización de nitrato almacenado en las hojas más viejas (Santoro y Magalhaes, 1983; Hawkesford et al., 2012), las externas, que acumularían más iones nitrato que las hojas internas, más jóvenes.

Además de la cantidad de luz recibida por los cultivos, en la concentración de nitrato en hoja influyó también de forma significativa la fertilización nitrogenada, tanto mineral como orgánica, encontrándose una muy buena correlación ( $R^2 > 0,99$ ) entre la aplicación de dosis crecientes de BIOF-1 y la concentración de nitrato en savia tanto en hojas externas como internas en otoño-invierno y primavera. Los resultados

sugieren que este abono orgánico proporcionó a la planta una parte importante de N mineral procedente de la mineralización de su N orgánico, ya que, en primavera, cuando la actividad de la nitrato-reductasa es alta y hay una rápida utilización de los nitratos para la formación de compuestos nitrogenados orgánicos, pudo observarse un incremento significativo de la concentración de nitrato en hojas externas e internas de lechuga al aumentar la dosis de BIOF-1.

La mineralización del N orgánico depende de las condiciones edáficas y de las características del estiércol. Entre los factores de suelo que más afectan a la mineralización están la humedad y la temperatura (Agehara y Warncke, 2005), principalmente por sus efectos en los microorganismos que llevan a cabo la mineralización. La actividad microbiana es máxima cuando el contenido de agua en el suelo está entre el 50 y el 70 % de la capacidad de campo (Linn y Doran, 1984; Franzluebbers, 1999). Temperaturas de 20-24 °C mejoran la mineralización del estiércol de pollo, respecto a temperaturas más bajas, principalmente porque estimulan la actividad microbiana del suelo (Griffin y Honeycutt, 2000). En las condiciones de los ensayos realizados, el suelo se mantuvo en condiciones cercanas a capacidad de campo mediante el riego tanto en los cultivos de otoño-invierno como en primavera, por lo que la mineralización del N orgánico del estiércol se vio favorecida por una mayor temperatura y mayor actividad microbiana en el suelo de cultivo en primavera, que se tradujo en una mayor concentración de nitratos en planta.

En condiciones de suelo favorables, la mineralización del N orgánico de los estiércoles se produce cuando la relación C:N es inferior a 15, observándose mayor tasa de mineralización cuanto más baja de 15 el valor de la relación (Serna y Pomares, 1991; Chadwick et al., 2000; Qian y Schoenau, 2002). Por esta razón, los estiércoles de pollo, ricos en N y con relaciones C:N bajas, presentan mayores tasas de mineralización de N orgánico que otros estiércoles, como el de vacuno o porcino (Chadwick et al., 2000). La baja relación C:N del abono BIOF-1 (C/N = 7) determinó una alta mineralización del N orgánico en primavera, que condujo a una mayor disponibilidad de iones nitrato en suelo y a una mayor concentración de nitrato en planta respecto al control.

Hubo un efecto residual de los tratamientos con abonos minerales (nitrato amónico y Nitrofoska) y del tratamiento con la dosis más alta de BIOF-1, tanto en invierno como en primavera, que determinó un mayor contenido en nitrato tanto en hojas externas como internas respecto al resto de los tratamientos fertilizantes y el control. Esto indica que no todo el nitrógeno aplicado en los tratamientos minerales se utilizó en el primer ciclo (el de otoño y el primero de primavera) y que probablemente parte del N orgánico de la dosis más alta de BIOF-1 siguió mineralizándose entre el primero y el segundo ciclo de cada época.

El interés de la utilización de abonos orgánicos en el cultivo de lechuga se apoya, entre otros muchos factores, en que la mayor parte del nitrógeno que contienen es

orgánico, como sucede con el estiércol de pollo, y por tanto pueden suministrar iones nitrato a lo largo del desarrollo del cultivo, a medida que el N orgánico se va mineralizando, contribuyendo además a incrementar la reserva residual de N orgánico en suelo (Smith y Hadley, 1989).

En ninguno de los tratamientos fertilizantes (minerales u orgánicos), tanto en primavera como en otoño, se sobrepasaron los límites establecidos por el Reglamento de la UE N° 1258/2011, que regula el contenido máximo de nitratos en productos alimenticios. La concentración de nitrato más alta medida fue de 4500 mg kg<sup>-1</sup> y se obtuvo en hojas externas de lechugas cultivadas en invierno abonadas con la dosis más alta de BIOF-1, 1064,0 g m<sup>-2</sup>. Esta concentración está por debajo del límite máximo establecido para lechugas de tipo no Iceberg cultivadas en invernadero y cosechadas en invierno (5000 mg NO<sup>3-</sup> kg<sup>-1</sup>), pero es lo suficientemente alta como para recomendar, por precaución, dosis de BIOF-1 inferiores en cultivos de lechuga bajo condiciones de baja luminosidad.

## 5. Conclusión

La aplicación de BIOF-1 al cultivo de lechuga influye directamente en la concentración de nitrato en planta, tanto en hojas internas como externas, de forma que a mayor dosis de BIOF-1, mayor será la concentración del ión.

La dosis de 1064 g m<sup>-2</sup> de BIOF-1 (240 kg N ha<sup>-1</sup>) tiene un efecto residual en el contenido en nitrato de hojas externas e internas en una segunda cosecha de lechuga, tanto en invierno como en primavera.

Aplicando fertilizantes minerales (nitrato amónico o Nitrofoska) o estiércol deshidratado y granulado de pollo (BIOF-1), las concentraciones de nitrato son más elevadas en hojas externas de lechuga que en las internas, especialmente en condiciones de baja luminosidad (ciclo de invierno).

Como precaución, para evitar alcanzar la concentración de nitrato límite establecida por la UE para lechugas en invernadero, se recomienda no aplicar más de 1000 g m<sup>-2</sup> de BIOF-1 (225 kg N ha<sup>-1</sup>) en ciclos de cultivo que se lleven a cabo en invierno.

## 6. Referencias bibliográficas

Abu-Rayyan, A.; Kharawish, B.H.; Al-Ismail, K. 2004. Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. J. Sci. Food Agric. 84: 931-936.

Addiscott, T.M.; Benjamin, N. 2004. Nitrate and human health. Soil Use Manage. 20: 98-104.

- Agehara, S.; Warncke, D.D. 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1844-1855.
- Alt, D.; Füll, A.M. 1988. Control of nitrogen estatus of lettuce by nitrate analysis of plant sap. *Acta. Hortic.* 222: 23-27.
- Appenroth, K.J.; Meco, R.; Jourdan, V.; Lillo, K. 2000. Phytochrome and post-translational regulation of nitrate reductase in higher plants. *Plant Sci.* 159: 51-56.
- Blom-Zandstra, M. 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Ann. Appl. Biol.* 115: 553-561.
- Boink, A.; Speijers, G.J.A. 2001. Health effects of nitrates and nitrites, a review. *Acta. Hortic.* 563: 29-36.
- Burns, I.G.; Lee, A.; Escobar-Gutiérrez, A.J. 2004. Nitrate accumulation in protected lettuce. *Acta Hort.* 633: 271-278.
- Byrne, C.; Maher, M.J.; Hennerty, M.J.; Mahon, M.J.; Walshe, P.A. 2001. Reducing the nitrate content of protected lettuce. Teagasc Research Report, Teagasc, Kinsealy Research Centre, Dublín. p. 21. Disponible en: [http://www.teagasc.ie/publications/view\\_publication.aspx?PublicationID=361](http://www.teagasc.ie/publications/view_publication.aspx?PublicationID=361). Último acceso: 03/05/2013.
- Cantliffe, D.J., 1973. Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorous, and potassium nutrition and light intensity. *Agron. J.* 65: 563-565.
- Chadwick, D.R.; John, F.; Pain, B.F.; Chambers, B.J.; Williams, J. 2000. Plant uptake of nitrogen from the organic fraction of animal manures: a laboratory experiment. *J. Agric. Sci., Cambridge* 134: 159-168.
- Chen, B.M.; Wang, Z.H.; Li, S.X.; Wang, G.X.; Song, H.X.; Wang, X.N. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.* 167: 635-643.
- Consalteri, A.; Rigato A.; Clamor L.; Giandon P. 1992. Determination of nitrate in vegetables using an ion-selective electrode. *J. Food Comp. Anal.* 5: 252-256.
- Cookson, S.J.; Williams, L.E.; Miller, A.J. 2005. Light-dark changes in cytosolic nitrate pools depend on nitrate reductase activity in *Arabidopsis* leaf cells. *Plant Physiol.* 138: 1097-1105.
- Demsăr, J.; Osvald, J. 2003. Influence of  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratio on growth and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) in an aeroponic system. *Agrochimica* 47: 112-121.
- Demsăr, J.; Osvald, J.; Vodnik, D. 2004. The effect of light-dependent application of nitrate on the growth of aeroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 129: 570-575.

- Franzluebbers, A.J. 1999. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. *Appl. Soil Ecol.* 11: 91-101.
- Griffin, T.S.; Honeycutt, C.W. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1876-1882.
- Gunes, A.; Post, W.H.K.; Aktas, M. 1995. Effects of partial replacement of nitrate by  $\text{NH}_4\text{-N}$ , urea-N and amino acid-N in nutrient solution on nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agrochimica.* 39: 326-333.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.M.R.; Lambers, H.; Schjørring, J.K.; Møller, I.S.; White, P. 2012. Functions of macronutrients. En: Mineral nutrition of higher plants. 3ª edición. Ed. P. Marschner. Academic Press, Londres, Reino Unido. pp: 135-189.
- Hewitt, E.J. 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26: 73-100.
- Hotchkiss, J.H.; Cassens, R.G. 1987. Nitrate, nitrite and nitroso compounds in foods. *Food Technol.* 41: 127-136.
- Krohn, N.G.; Missio, R.F.; Ortolan, M. L.; Burin, A.; Steinmacher, D. A.; Lopes, M.C. 2003. Nitrate level in lettuce leaves in function of the harvest time and leaf type sampling. *Hortic. Bras.* 21: 216-219.
- Linn, D.M.; Doran, J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1267-1272.
- Magee, P.N.; Barnes, J.M. 1956. The production of malignant primary hepatic tumours in the rat by feeding dimethylnitrosamine. *Br. J. Cancer.* 10: 114-122.
- McCall, D.; Willumsen, J. 1998. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73: 698-703.
- Miller, A.J.; Smith, S.J. 1996. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. *J. Exp. Bot.* 47: 843-854.
- Mirvish, S.S. 1977. N-nitroso compounds, nitrite and nitrate: possible implications for the causation of human cancer. *Prog. Water Technol.* 8: 195-207.
- Pannala, A.S.; Mani, A.R.; Spencer, J.P.E.; Skinner, V.; Bruckdorfer, K.R.; Moore, K.P.; Rice-Evans, C.A. 2003. The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans. *Free. Radic. Biol. Med.* 34: 576-584.
- Powlson, D.S.; Stockdale, E.A.; Jarvis, S.C.; Shepherd, M.A. 1994. Methane oxidation in soil as affected by land use, soil pH and N fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 26(12): 1613-1622.

- Prasad, S.; Chetty, A.A. 2008. Nitrate-N determination in leafy vegetables: Study of the effects of cooking and freezing. *Food Chem.* 106: 772-780.
- Reed, A.J.; Below, F.E.; Hageman, R.H. 1980. Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiol.* 66: 1179-1183.
- Qian, P.; Schoenau, J.J. 2002. Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios. *Can. J. Soil Sci.* 82: 219-225.
- 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* L320, 15-17.
- 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. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 17: 303-318.
- Roorda Van Eysinga J.P.N.L.; van der Meijs M.Q. 1985. Effect of nitrogen nutrition and global radiation on yield and nitrate content of lettuce grown under glass. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 16: 1293-1300.
- Rożek, S.; Wojciechowska, R. 1990. Effect of light and growth regulators on the circadian rhythm of nitrate reductase and nitrite reductase activities in greenhouse lettuce leaves. *Folia Hort.* 2: 53-64.
- Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86: 10-17.
- Santoro, L.G.; Magalhaes, A.C.N. 1983. Changes in nitrate reductase activity during development of soybean leaf. *Z. Pflanzenphysiol.* 112: 113-121.
- Serna, M.D.; Pomares, F. 1991. Comparison of biological and chemical methods to predict nitrogen mineralization in animal wastes. *Biol. Fert. Soils.* 12: 89-94.
- Smith, S.R.; Hadley, P. 1989. A comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers: Their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune). *Plant Soil* 115: 135-144.
- Spiegelhalter, B.; Eisenbrand, G.; Preussmann, R. 1976. Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to *in vivo* formation of N-nitroso compounds. *Food. Cosmet. Toxicol.* 14: 545-548.
- Steingröver, E.G.; Steenhuizen, J.W.; van der Boon, J. 1993. Effects of low light intensities at night on nitrate accumulation in lettuce grown on a recirculating nutrient solution. *Neth. J. Agri. Sci.* 41: 13-21.

Tei, F.; Benincasa, P.; Guiducci, M. 2003. Critical nitrogen concentration in lettuce. *Acta Hort.* 627: 187-194.

Tesi, R.; Lenzi, A. 1998. Controlled-released fertilizers and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agric. Mediterr.* 128: 313-320.





**Efectos del abonado con estiércol  
deshidratado y granulado de  
pollo en el contenido salino y  
nivel de metales en suelo en  
cultivo de lechuga**

## Efectos del abonado con estiércol deshidratado y granulado de pollo en el contenido salino y nivel de metales en suelo en cultivo de lechuga

---

### Resumen

Se estudió la evolución de la salinidad del suelo y del contenido de metales tras la aplicación de diferentes dosis de estiércol deshidratado y granulado de pollo (BIOF-1) en comparación con fertilizantes comerciales minerales como el nitrato amónico (M) y el Nitrofoska Stábil (Nf), en un suelo de invernadero donde se llevaron a cabo dos ensayos de cultivo de lechuga (ciclos de otoño-invierno y primavera). Sólo en el tratamiento B4 ( $1064 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) del ciclo I de otoño, se superó el valor límite de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ , valor umbral a partir del cual puede producirse una reducción del rendimiento en el cultivo de lechuga. En el segundo ensayo de primavera, los valores de C.E.<sub>e</sub> en suelo fueron más altos que los encontrados en el ensayo de otoño-invierno, en concreto, las dosis más altas de abono orgánico (B4,  $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$  y B5,  $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y el tratamiento mineral con nitrato amónico (M) superaron en los dos ciclos de este ensayo los  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  de C.E. Se ha podido constatar una relación directa entre la dosis de abonado orgánico y la conductividad eléctrica independientemente de la época de cultivo, de manera que a mayor cantidad de fertilizante BIOF-1 añadido al suelo, mayor aumento de la C.E.<sub>e</sub> en el suelo. Sin embargo en ningún caso se superaron los  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , nivel a partir del cual se considera que un suelo es salino. Tanto el abonado orgánico a diferentes dosis con BIOF-1, como los fertilizantes minerales (nitrato amónico y Nitrofoska Stábil) no supusieron una fuente de metales en suelo a corto plazo (8 meses de cultivo). Para evitar riesgos de salinización del suelo a largo plazo se recomienda no utilizar dosis de BIOF-1 que superen los  $600 \text{ g m}^{-2}$  en otoño y los  $1200 \text{ g m}^{-2}$  en primavera para el cultivo de lechuga en invernadero.

**Palabras clave:** estiércol de pollo, *Lactuca sativa* L., metales, remediación, salinización

### 1. Introducción

---

La salinización, es decir la acumulación en el suelo de sales solubles en cantidades perjudiciales, es uno de los procesos de degradación del suelo más

extendido en todo el planeta, y que más contribuye a la degradación del suelo y al descenso del rendimiento de los cultivos (Hasegawa et al., 2000; Qadir et al., 2007). En condiciones naturales, todos los suelos presentan una cierta cantidad de sales que pueden tener orígenes diferentes, sin que en la mayoría de ellos se registren problemas de salinización. Sin embargo, el uso habitual y abundante de fertilizantes, la sobreexplotación de aguas subterráneas en regiones costeras o el aporte de materiales de carácter salino, son algunas de las acciones que originan una salinidad inducida o secundaria causada por el hombre. Esto ocurre especialmente en sistemas de cultivo intensivo y en condiciones de falta de lavado natural por el agua de lluvia (Rubeitz y Solh, 1986; Sonneveld, 1988).

En Europa, hay suelos salinos en Hungría, Rumanía, Grecia, Italia y en la península Ibérica, siendo la superficie afectada de 3,8 millones de hectáreas (Montanarella, 2006). Se estima que la salinización del suelo afecta en la UE-27 a un total de entre 1 y 3 millones de hectáreas, principalmente en áreas mediterráneas (SoCo, 2009) (figura 1). Con el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones que se están registrando en los últimos años, el problema de la salinización en Europa tiende a ser cada vez más grave.

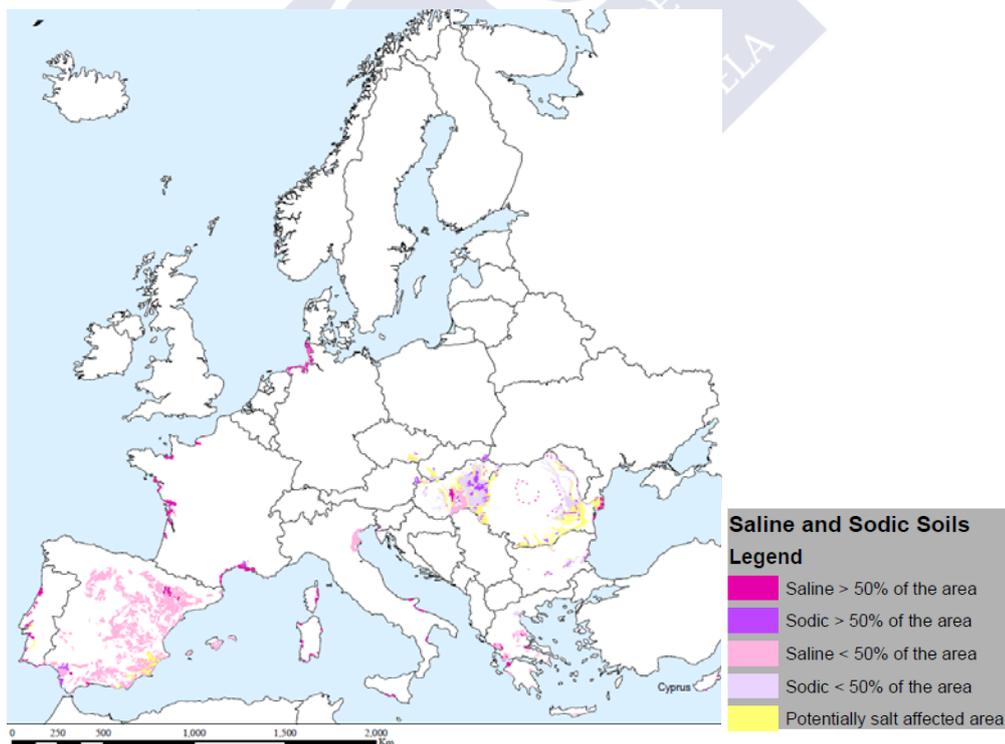


Figura 1  
Suelos salinos y sódicos en la Unión Europea (Tóth et al., 2008)

Sólo en España hay una extensión aproximada de 400.000 ha de suelos afectados por un contenido elevado de sales (Marismas del Guadalquivir, Delta del Ebro, La

Mancha, Los Monegros, etc), sin contar las zonas de regadío intensivo y los suelos de los invernaderos, donde el proceso de salinización se acelera (López-Mosquera y Macías, 1993; Miceli et al., 2003). En muchas zonas hortícolas del Mediterráneo, el uso intensivo de agua extraída de los pozos ha provocado la intrusión de agua de mar (Gómez et al., 2003). Como consecuencia, el agua utilizada para el riego es cada vez más salobre llegando a alcanzar altos niveles de conductividad eléctrica, que no pueden tolerar los cultivos hortícolas.

Según el borrador del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) del MAGRAMA, el problema de la salinización de los suelos afecta en grado severo a un 3 % de los 35.000 km<sup>2</sup> de regadío existentes en España, que restringe su utilización económica, y un 15 % adicional presenta un riesgo creciente de salinización que empieza a limitar su utilización para cultivos sensibles especialmente en las cuencas del Guadalquivir, Ebro, Guadiana, Tajo Sur, y a lo largo de la costa levantina (MAGRAMA, 2008) (figura 2).

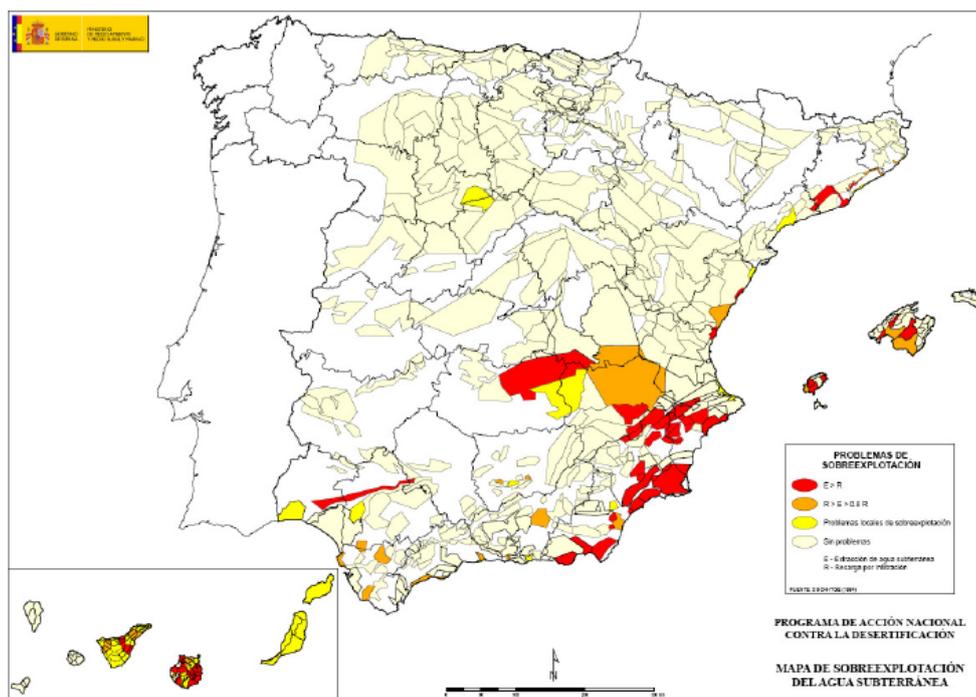


Figura 2  
 Mapa de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización del agua subterránea (Borrador del Programa Nacional de Acción contra la Desertificación, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2008)

En condiciones naturales, los suelos de Galicia están prácticamente exentos de sales y la solución del suelo, aún en los de mayor concentración, presenta bajos niveles de conductividad eléctrica (<0,5 dS m<sup>-1</sup>) (Calvo et al., 1987; Álvarez, 1990). Sin

embargo, cuando los cultivos se realizan en invernadero, sin lavado natural, con aportes frecuentes y abundantes de fertilizantes, y en ocasiones, con sistemas de drenaje deficientes, es fácil que aparezca salinidad inducida por alguno de estos factores que puede limitar la absorción de elementos minerales y agua por las raíces, constituyendo, en los suelos de invernadero, la modificación más destacada, por sus efectos nocivos sobre la planta y las condiciones del suelo (López-Mosquera y Macías, 1993).

Los estiércoles de distintas producciones ganaderas son habitualmente utilizados como fertilizantes por su contenido en nutrientes, si bien no suele tenerse en cuenta que son materiales ricos en sales debido a la sal que se incorpora a la ración para mejorar el sabor y mantener el balance catión-anión, sales que sirven de vehículo para aditivos y sales que se encuentran de forma natural en los alimentos (Goff, 2006).

Aunque el estiércol de pollo es un eficaz abono para la producción agrícola, su contenido en sales puede llegar a causar problemas de salinización secundaria, incluso en suelos situados en zonas de alta precipitación, si se aplica en cantidades elevadas (Yao et al., 2007). La degradación de la calidad de los suelos, después de su aplicación sucesiva, se ha convertido en un motivo de preocupación, lo cual se acentúa en zonas áridas y semiáridas (Adeli et al., 2010; Bi et al., 2010).

Pero no sólo la salinidad puede ser un limitante para el uso de este tipo de fertilizante orgánico, sino que también pueden estar presentes ciertos metales, provenientes del uso de oligoelementos como suplemento alimenticio en forma de aditivo para la alimentación de los pollos en sistemas intensivos o también presentes en fitosanitarios para el control de plagas en las naves (Pesti y Bakalli, 1996; Nicholson et al., 1999; Bednar et al., 2003; Bolan et al., 2004; Brown et al., 2005; Zhou et al., 2005). Algunos estudios encuentran altas concentraciones de Cu y Zn en suelo, a corto y largo plazo, después de aplicar gallinaza, pudiendo llegar a ser potencialmente fitotóxicos (Nicholson et al., 1999; Cang et al., 2004).

El fertilizante comercial BIOF-1, consistente en estiércol deshidratado y granulado de pollo, tiene una conductividad eléctrica media de  $11,1 \text{ dS m}^{-1}$  en extracto de saturación (ver capítulo I de esta memoria, tabla 3). BIOF-1 es por tanto un fertilizante de carácter salino y no se conoce su efecto en la salinidad del suelo cuando se aporta en cultivos en invernadero. Por otra parte, los contenidos en metales de BIOF-1 están muy por debajo de los valores máximos permitidos por la legislación para la comercialización de abonos orgánicos (capítulo I, tabla 3), pero sería conveniente conocer su evolución en el suelo después de varios aportes y ciclos de cultivo.

El objetivo de este capítulo fue conocer los efectos de la aplicación de distintas dosis de BIOF-1 en la salinidad y contenido de metales en un suelo de invernadero cultivado con lechuga en Galicia.

## 2. Material y métodos

En los dos ensayos de cultivo de lechuga (ciclos de otoño-invierno y primavera) detallados en el capítulo II de esta memoria, se estudió la evolución de la salinidad del suelo y del contenido de metales en todos los tratamientos desde el inicio de cada cultivo hasta su cosecha. En otoño se establecieron dos cultivos sucesivos de lechuga en el periodo comprendido desde el 10/10/2001 hasta el 27/02/2002 y en primavera otros dos, desde el 17/03/2002 hasta el 26/06/2002. En el ensayo de otoño-invierno, se establecieron bancales control (C) que no recibieron fertilizantes, bancales fertilizados con 58,5 g m<sup>-2</sup> de nitrato amónico (20,5 % de N) para suministrar 120 kg N ha<sup>-1</sup> (M), y aplicación de 4 dosis del producto comercial de estiércol deshidratado y granulado de pollo BIOF-1 (266,7, 366,7, 532,0 y 1064,0 g m<sup>-2</sup>, para proporcionar respectivamente 60, 80, 120 y 240 kg N ha<sup>-1</sup> (B1, B2, B3 y B4)). En el ensayo de primavera, los tratamientos fueron: aplicación de 58,5 g m<sup>-2</sup> de nitrato amónico al 20,5 % (M) (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), aplicación de 100 g m<sup>-2</sup> de Nitrofoska Stábil al 12 % (Nf, 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y 3 dosis de BIOF-1 con una riqueza del 3,7 % de N (B3: 635 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>; B4: 1237 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>; B5: 1904 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>). A continuación se especifican los materiales y métodos utilizados para realizar el seguimiento de estos parámetros.

### 2.1. Recogida y análisis de muestras de suelo

Se recogieron muestras de suelo en los 18 bancales de cultivo, antes de abonar en la primera ocasión y después de cada una de las cuatro cosechas, mediante una sonda cilíndrica de tubo hueco de 5 cm de diámetro que se introdujo en el suelo en los primeros 10 cm. En cada bancal se tomaron varias submuestras de suelo que se mezclaron para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 300 g.

Las muestras de suelo se secaron al aire y, tras disgregar los terrones, se tamizaron con una malla de 2 mm de luz, despreciándose la fracción gruesa.

Posteriormente se hizo un extracto de pasta saturada, utilizando un volumen de agua correspondiente a la humedad de saturación y equilibrada durante cuatro horas (Richards, 1954). En este extracto se determinó la conductividad eléctrica (C.E.<sub>e</sub>) por medio de un conductímetro CRISON microCM 2201, expresándola en dS m<sup>-1</sup> a 25 °C. Los cationes solubles en el extracto de saturación (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>) fueron medidos por absorción y/o emisión atómica en un equipo Varian Spectraa 220. Los cloruros (Cl<sup>-</sup>) y el contenido de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se determinaron con electrodo selectivo (Keeney y Nelson, 1982). El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) fue determinado a partir de la relación de adsorción de sodio (RAS) de los elementos solubles presentes en el extracto de saturación, estimándolo a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2}$$

$$\text{PSI} = 100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS}) / 1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})$$

Para la determinación de metales en suelo (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), se realizó una digestión de 0,5 g de suelo con ácido nítrico en un microondas Milestone Ethos 900 a unas condiciones de 800 vatios de potencia y 17 bares de presión. Después de la digestión nítrica, los metales se midieron mediante absorción atómica. Para contrastar la validez de los resultados obtenidos se utilizó el material de referencia certificado CRM N° 143R (Community Bureau of Reference).

## 2.2. Análisis de la conductividad eléctrica del BIOF-1

Una muestra de 100 g del estiércol deshidratado y granulado de pollo utilizado como abono en los ensayos se molió hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm.

La conductividad eléctrica se determinó en extracto de saturación (Richards, 1954), utilizando para ello un conductímetro CRISON microCM 2201. La medición se refirió a 25 °C y se expresó en dS m<sup>-1</sup>.

## 2.3. Análisis de datos

Los datos se sometieron a un análisis de varianza con un solo factor, Anova I. Las medias se compararon mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS), comprobando previamente si los datos eran normales (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y efectuando la prueba de homogeneidad de la varianza de Levene. Cuando las varianzas no fueron homogéneas, se aplicó la prueba de Mann-Whitney. Se empleó el paquete software estadístico SPSS 17.0.

Se estimó también la relación entre la dosis de BIOF-1 y la conductividad eléctrica del suelo para cada ciclo de cultivo mediante un análisis de regresión, utilizando el menor valor de la varianza residual y el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) como criterios para la selección de la ecuación con mejor bondad de ajuste.

# 3. Resultados

## 3.1. Salinidad

No hubo diferencias en la conductividad eléctrica de los suelos entre bancales antes de aplicar los tratamientos fertilizantes. Se partió por tanto de las mismas condiciones de salinidad, con un valor medio de 0,8 dS m<sup>-1</sup>.

Tras el ciclo I del primer ensayo, todos los bancales que recibieron tratamiento fertilizante, tanto mineral como orgánico, presentaron mayor conductividad eléctrica que el control, siendo el tratamiento B4 (1064 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) el que presentó un incremento mayor (figura 3). Después del segundo ciclo, la conductividad fue

también significativamente más baja en el control que en cualquier tratamiento de fertilización, si bien no hubo diferencias entre el tratamiento mineral y las distintas dosis de BIOF-1 (figura 3).

Los valores de C.E.<sub>e</sub> medidos en todos los tratamientos tras cada uno de los dos ciclos de lechuga de otoño-invierno estuvieron por debajo del límite de 4 dS m<sup>-1</sup>, a partir del cual se considera que un suelo es salino (Allison y Richards, 1973). Exceptuando el tratamiento B4 (1064 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) del ciclo I de otoño, tampoco superaron el valor de 1,3 dS m<sup>-1</sup>, umbral a partir del cual se puede comenzar a producir una reducción del rendimiento en el cultivo de lechuga (Ayers y Westcot, 1976; Carter, 1981).

En el ciclo II, en el que el crecimiento del cultivo se basó en el efecto residual de los fertilizantes aplicados en el ciclo I, la conductividad eléctrica en cada tratamiento fue más baja que en el mismo tratamiento en el ciclo I y siempre inferior al valor umbral de 1,3 dS m<sup>-1</sup> para el cultivo de lechuga (figura 3).

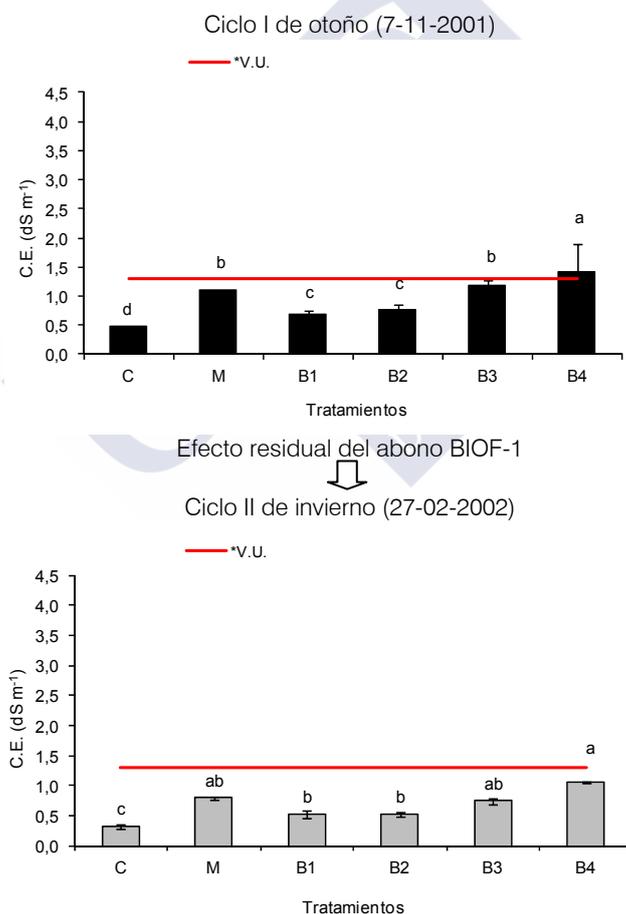


Figura 3

Efecto de distintos tratamientos fertilizantes en la conductividad eléctrica del suelo tras dos ciclos de cultivo de lechuga de otoño-invierno (ciclo I de otoño, ciclo II de invierno). C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>). Dentro de cada ciclo de cultivo de lechuga, barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . \*V.U.: valor umbral para lechuga (1,3 dS m<sup>-1</sup> de C.E.<sub>e</sub>) a partir del cual se produce una reducción del rendimiento en el cultivo de lechuga

En el segundo ensayo, en el que se cultivaron dos ciclos de primavera, dentro de cada tratamiento de fertilización, los valores de C.E.<sub>e</sub> en el suelo fueron más altos en el ciclo I que en el ciclo II (figura 4), y superiores a los observados en el ensayo de otoño-invierno.

En el ciclo I de primavera, los niveles de sales estuvieron por debajo del límite de 4 dS m<sup>-1</sup> en todos los tratamientos, pero fueron superiores al adecuado para lechuga (1,3 dS m<sup>-1</sup>) en los dos tratamientos de abonado mineral (M y Nf) y con las dosis más altas de BIOF-1 (B4, 1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup> y B5, 1904 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg ha<sup>-1</sup>).

En el ciclo II el tratamiento mineral M y la dosis B4 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) de BIOF-1 alcanzaron el valor umbral de C.E.<sub>e</sub> para este cultivo de 1,3 dS m<sup>-1</sup>, y solo el tratamiento mineral Nf y el que recibió la dosis más alta de BIOF-1, B5 (1904 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg ha<sup>-1</sup>), lo superaron.

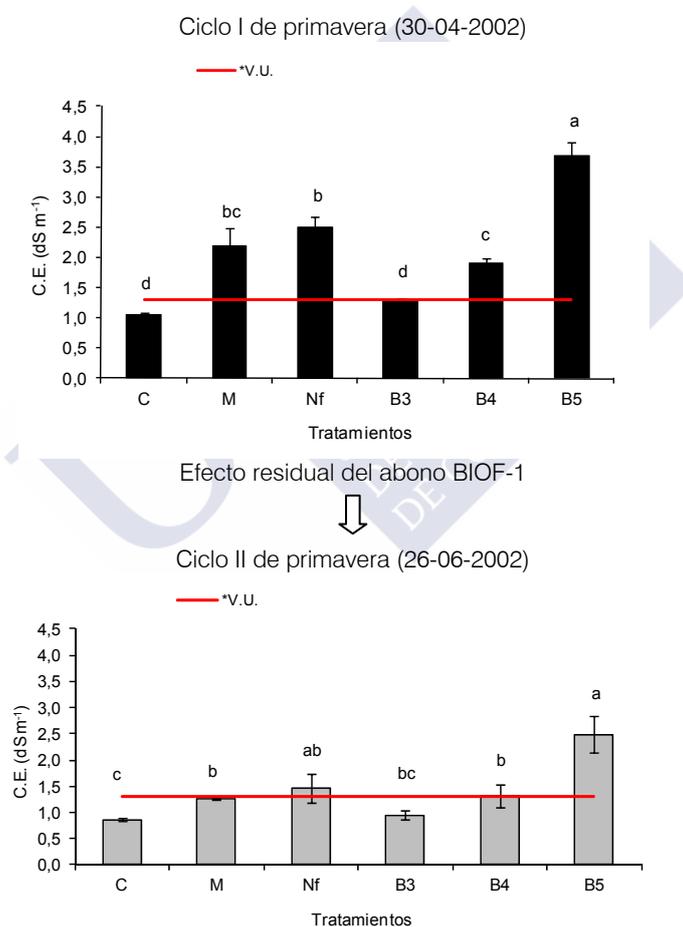


Figura 4

Efecto de distintos tratamientos fertilizantes en la conductividad eléctrica del suelo tras dos ciclos de cultivo de lechuga de primavera. C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>). Para cada ciclo de cultivo de lechuga, barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . \*V.U.: valor umbral (1,3 dS m<sup>-1</sup> de C.E.<sub>e</sub>)

Como cabría esperar, dadas las condiciones de mayor evaporación en los ciclos de lechuga de primavera, la solución del suelo experimentó un incremento del nivel de sales, respecto a la situación inicial, mayor que en los ciclos de otoño-invierno.

En todos los bancales donde se utilizó el abono BIOF-1, independientemente de la fecha del cultivo, se pudo apreciar que la C.E.<sub>e</sub> del suelo y las dosis de abono BIOF-1 aplicadas en los distintos tratamientos se ajustaron a ecuaciones de tipo polinómico de segundo grado  $P_i = a(D)^2 + b(D) + c$  (figura 5), donde  $P_i$  es la CE<sub>e</sub> del suelo en  $dS\ m^{-1}$  y D la dosis de BIOF-1 aportada en  $kg\ ha^{-1}$ , indicando una relación directa entre ambos parámetros, es decir a mayor cantidad de abono orgánico añadido, mayor aumento de la C.E.<sub>e</sub> en el suelo, (figura 5).

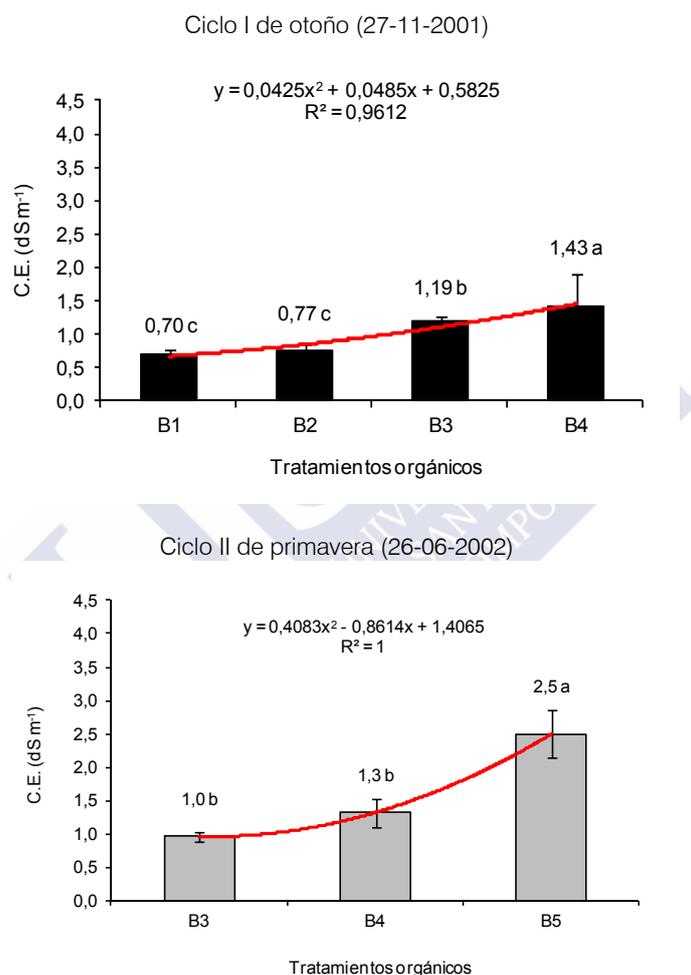


Figura 5

Relación entre conductividad eléctrica y dosis de BIOF-1 en ciclo I de otoño y ciclo II de primavera. Ciclo I de otoño (B1: BIOF-1 ( $266,7\ g\ m^{-2} \sim 60\ kg\ N\ ha^{-1}$ ), B2: BIOF-1 ( $366,7\ g\ m^{-2} \sim 80\ kg\ N\ ha^{-1}$ ), B3: BIOF-1 ( $532,0\ g\ m^{-2} \sim 120\ kg\ N\ ha^{-1}$ ) y B4: BIOF-1 ( $1064,0\ g\ m^{-2} \sim 240\ kg\ N\ ha^{-1}$ )). Ciclo II de primavera (B3: BIOF-1 ( $634,7\ g\ m^{-2} \sim 120\ kg\ N\ ha^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9\ g\ m^{-2} \sim 240\ kg\ N\ ha^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0\ g\ m^{-2} \sim 360\ kg\ N\ ha^{-1}$ )). Barras encabezadas por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

Después de cuatro ciclos de cultivo de lechuga, la importancia cuantitativa de los cationes solubles en la solución del suelo no fue estadísticamente diferente para los distintos tratamientos fertilizantes, tanto minerales como orgánicos, y para el control.

Solo se encontraron diferencias en cuanto a los aniones, siendo mayor la concentración de nitratos en las parcelas que fueron fertilizadas:

Control: aniones solubles ( $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ ), cationes solubles ( $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ).

Tratamientos M (Nitrato amónico), Nf (Nitrofoska Stábil), B2, B3, B4 y B5 (dosis crecientes de BIOF-1): aniones solubles ( $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ ), cationes solubles ( $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ).

Los contenidos más altos en  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  solubles, dentro de cada cultivo, se encontraron siempre en los suelos que recibieron la dosis más alta de BIOF-1, es decir B4 ( $1064 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) para los cultivos de otoño-invierno y B5 ( $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$ ) para los cultivos de primavera (tabla 1).

Solo en los dos ciclos de cultivo de primavera, en los bancales donde se abonó con BIOF-1 (B3, B4 y B5) el contenido de cloruros en suelo fue superior a  $1,4 \text{ mmol L}^{-1}$ , valor por encima del cual la lechuga podría sufrir problemas de toxicidad debido al exceso de este ión (Sánchez-Merino et al., 1992).

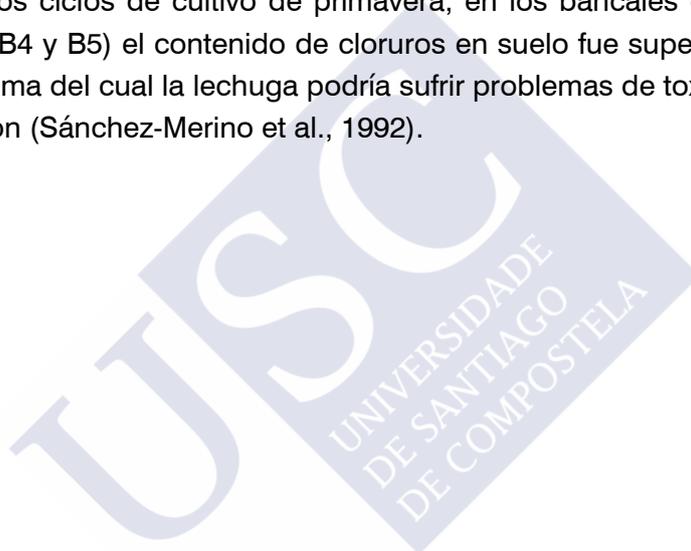


Tabla 1

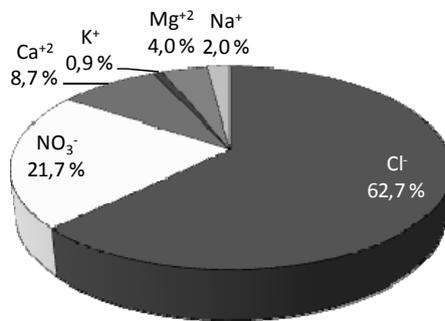
Contenido de nitratos, cloruros,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  y  $Na^+$  en extracto de saturación del suelo en los distintos tratamientos de fertilización en dos cultivos de lechuga de otoño-invierno y dos de primavera al final de cada ciclo de cultivo. Ensayo de otoño-invierno (C: control; M: Nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B1: BIOF-1 ( $266,7 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B2: BIOF-1 ( $366,7 \text{ g m}^{-2} \sim 80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B3: BIOF-1 ( $532,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4: BIOF-1 ( $1064,0 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ )). Ensayo de primavera (C: control; M: nitrato amónico ( $58,5 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); Nf: Nitrofoska Stábil ( $100,0 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); B3: BIOF-1 ( $634,7 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), B4: BIOF-1 ( $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B5: BIOF-1 ( $1904,0 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ))

|   | $Cl^-$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $NO_3^-$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $K^+$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $Ca^{++}$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $Mg^{++}$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $Na^+$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Situación inicial<br/>(08-10-2001)</b>     |                                   |                                     |                                  |                                      |                                      |                                   |
| C   | 0,20 <sup>a</sup>                 | 0,17 <sup>a</sup>                   | 0,74 <sup>a</sup>                | 5,54 <sup>a</sup>                    | 0,92 <sup>a</sup>                    | 0,23 <sup>a</sup>                 |
| M   | 0,20 <sup>a</sup>                 | 0,19 <sup>a</sup>                   | 0,81 <sup>a</sup>                | 6,58 <sup>a</sup>                    | 1,05 <sup>a</sup>                    | 0,27 <sup>a</sup>                 |
| B1  | 0,19 <sup>a</sup>                 | 0,17 <sup>a</sup>                   | 0,72 <sup>a</sup>                | 7,50 <sup>a</sup>                    | 0,96 <sup>a</sup>                    | 0,25 <sup>a</sup>                 |
| B2  | 0,21 <sup>a</sup>                 | 0,14 <sup>a</sup>                   | 0,72 <sup>a</sup>                | 6,40 <sup>a</sup>                    | 0,93 <sup>a</sup>                    | 0,24 <sup>a</sup>                 |
| B3  | 0,22 <sup>a</sup>                 | 0,13 <sup>a</sup>                   | 0,75 <sup>a</sup>                | 6,65 <sup>a</sup>                    | 0,85 <sup>a</sup>                    | 0,24 <sup>a</sup>                 |
| B4  | 0,21 <sup>a</sup>                 | 0,12 <sup>a</sup>                   | 0,75 <sup>a</sup>                | 7,37 <sup>a</sup>                    | 0,92 <sup>a</sup>                    | 0,24 <sup>a</sup>                 |
| <b>Ciclo I de otoño<br/>(27-11-2001)</b>      |                                   |                                     |                                  |                                      |                                      |                                   |
| C   | 0,32 <sup>c</sup>                 | 0,04 <sup>a</sup>                   | 0,46 <sup>b</sup>                | 4,14 <sup>c</sup>                    | 1,23 <sup>c</sup>                    | 1,30 <sup>c</sup>                 |
| M   | 0,41 <sup>c</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 0,40 <sup>b</sup>                | 7,98 <sup>b</sup>                    | 1,85 <sup>c</sup>                    | 1,07 <sup>c</sup>                 |
| B1  | 0,93 <sup>b</sup>                 | 0,04 <sup>a</sup>                   | 0,38 <sup>b</sup>                | 3,27 <sup>c</sup>                    | 0,91 <sup>d</sup>                    | 1,12 <sup>c</sup>                 |
| B2  | 0,42 <sup>c</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 0,51 <sup>b</sup>                | 4,95 <sup>c</sup>                    | 1,55 <sup>c</sup>                    | 1,64 <sup>b</sup>                 |
| B3  | 0,87 <sup>b</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 0,52 <sup>b</sup>                | 8,40 <sup>b</sup>                    | 2,47 <sup>b</sup>                    | 1,77 <sup>b</sup>                 |
| B4  | 1,36 <sup>a</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 1,06 <sup>a</sup>                | 11,1 <sup>a</sup>                    | 4,26 <sup>a</sup>                    | 4,71 <sup>a</sup>                 |
| <b>Ciclo II de invierno<br/>(27-02-2002)</b>  |                                   |                                     |                                  |                                      |                                      |                                   |
| C   | 0,12 <sup>b</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 1,35 <sup>c</sup>                | 2,81 <sup>d</sup>                    | 0,70 <sup>c</sup>                    | 0,49 <sup>c</sup>                 |
| M   | 0,10 <sup>b</sup>                 | 0,04 <sup>a</sup>                   | 1,64 <sup>c</sup>                | 5,79 <sup>b</sup>                    | 1,32 <sup>b</sup>                    | 0,52 <sup>c</sup>                 |
| B1  | 0,20 <sup>b</sup>                 | 0,03 <sup>a</sup>                   | 1,77 <sup>c</sup>                | 4,39 <sup>c</sup>                    | 0,83 <sup>c</sup>                    | 0,70 <sup>b</sup>                 |
| B2  | 0,13 <sup>b</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 1,85 <sup>c</sup>                | 3,22 <sup>c</sup>                    | 0,94 <sup>c</sup>                    | 0,71 <sup>b</sup>                 |
| B3  | 0,19 <sup>b</sup>                 | 0,03 <sup>a</sup>                   | 2,84 <sup>b</sup>                | 4,70 <sup>c</sup>                    | 1,48 <sup>b</sup>                    | 0,99 <sup>b</sup>                 |
| B4  | 0,50 <sup>a</sup>                 | 0,02 <sup>a</sup>                   | 4,27 <sup>a</sup>                | 7,92 <sup>a</sup>                    | 2,10 <sup>a</sup>                    | 1,53 <sup>a</sup>                 |
| <b>Ciclo I de primavera<br/>(30-04-2002)</b>  |                                   |                                     |                                  |                                      |                                      |                                   |
| C   | 1,58 <sup>d</sup>                 | 1,30 <sup>d</sup>                   | 0,02 <sup>b</sup>                | 0,42 <sup>c</sup>                    | 0,16 <sup>c</sup>                    | 0,05 <sup>c</sup>                 |
| M   | 0,66 <sup>e</sup>                 | 3,69 <sup>b</sup>                   | 0,02 <sup>b</sup>                | 0,95 <sup>a</sup>                    | 0,13 <sup>c</sup>                    | 0,05 <sup>c</sup>                 |
| Nf  | 1,40 <sup>d</sup>                 | 3,99 <sup>b</sup>                   | 0,05 <sup>b</sup>                | 0,95 <sup>a</sup>                    | 0,26 <sup>b</sup>                    | 0,08 <sup>c</sup>                 |
| B3  | 3,28 <sup>c</sup>                 | 2,55 <sup>c</sup>                   | 0,03 <sup>b</sup>                | 0,38 <sup>c</sup>                    | 0,19 <sup>c</sup>                    | 0,08 <sup>c</sup>                 |
| B4  | 6,34 <sup>b</sup>                 | 3,54 <sup>b</sup>                   | 0,04 <sup>b</sup>                | 0,62 <sup>b</sup>                    | 0,30 <sup>b</sup>                    | 0,12 <sup>b</sup>                 |
| B5  | 20,7 <sup>a</sup>                 | 8,10 <sup>a</sup>                   | 0,08 <sup>a</sup>                | 0,91 <sup>a</sup>                    | 0,64 <sup>a</sup>                    | 0,22 <sup>a</sup>                 |
| <b>Ciclo II de primavera<br/>(26-06-2002)</b> |                                   |                                     |                                  |                                      |                                      |                                   |
| C   | 0,98 <sup>c</sup>                 | 0,34 <sup>d</sup>                   | 0,01 <sup>c</sup>                | 0,14 <sup>d</sup>                    | 0,06 <sup>d</sup>                    | 0,03 <sup>c</sup>                 |
| M   | 1,09 <sup>c</sup>                 | 4,48 <sup>b</sup>                   | 0,02 <sup>c</sup>                | 0,33 <sup>bc</sup>                   | 0,12 <sup>c</sup>                    | 0,04 <sup>c</sup>                 |
| Nf  | 0,89 <sup>c</sup>                 | 5,52 <sup>b</sup>                   | 0,03 <sup>b</sup>                | 0,37 <sup>b</sup>                    | 0,24 <sup>b</sup>                    | 0,04 <sup>c</sup>                 |
| B3  | 1,83 <sup>b</sup>                 | 2,52 <sup>c</sup>                   | 0,02 <sup>c</sup>                | 0,27 <sup>c</sup>                    | 0,13 <sup>c</sup>                    | 0,06 <sup>bc</sup>                |
| B4  | 2,30 <sup>b</sup>                 | 4,18 <sup>c</sup>                   | 0,03 <sup>b</sup>                | 0,27 <sup>b</sup>                    | 0,14 <sup>c</sup>                    | 0,08 <sup>b</sup>                 |
| B5  | 8,20 <sup>a</sup>                 | 22,5 <sup>a</sup>                   | 0,08 <sup>a</sup>                | 0,83 <sup>a</sup>                    | 0,52 <sup>a</sup>                    | 0,18 <sup>a</sup>                 |

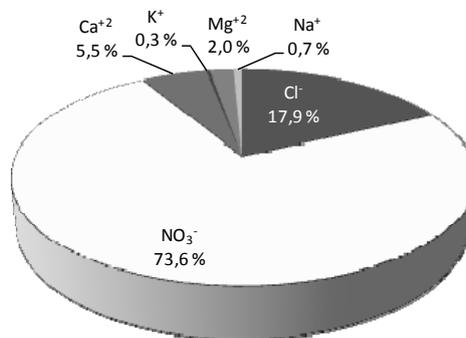
Para la situación inicial y dentro de cada ciclo de cultivo, en cada columna valores seguidos de distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

Tras ocho meses de cultivo de lechuga (dos ciclos de otoño-invierno seguidos de dos de primavera), en las parcelas control (C) los cloruros supusieron el 62,7 % de los iones presentes en la solución, ocupando el segundo lugar de importancia los nitratos, que no llegaron al 21 % del total de los iones del suelo (figura 6). Por el contrario, en los bancales abonados, el mayor porcentaje de iones en la solución del suelo correspondió siempre a los nitratos, independientemente del tratamiento fertilizante (figura 6). En los bancales que recibieron fertilizantes minerales (nitrato amónico, M, y Nitrofoska Stábil, Nf), los nitratos supusieron entre el 74 y el 78 % de los iones de la solución del suelo. En cambio, en las parcelas abonadas con el fertilizante BIOF-1 el porcentaje de nitratos solubles fue más bajo (52,2 %-69,7 %) y más alto el porcentaje de cloruros (figura 6).

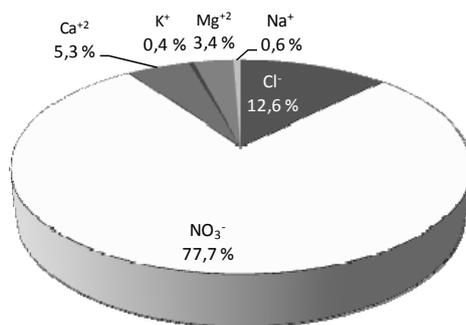
% de iones en la solución del suelo.  
Parcelas control (C)



% de iones en la solución del suelo.  
Bancales fertilizados con nitrato amónico (M)



% de iones en la solución del suelo.  
Bancales fertilizados con Nitrofoska Stábil (Nf)



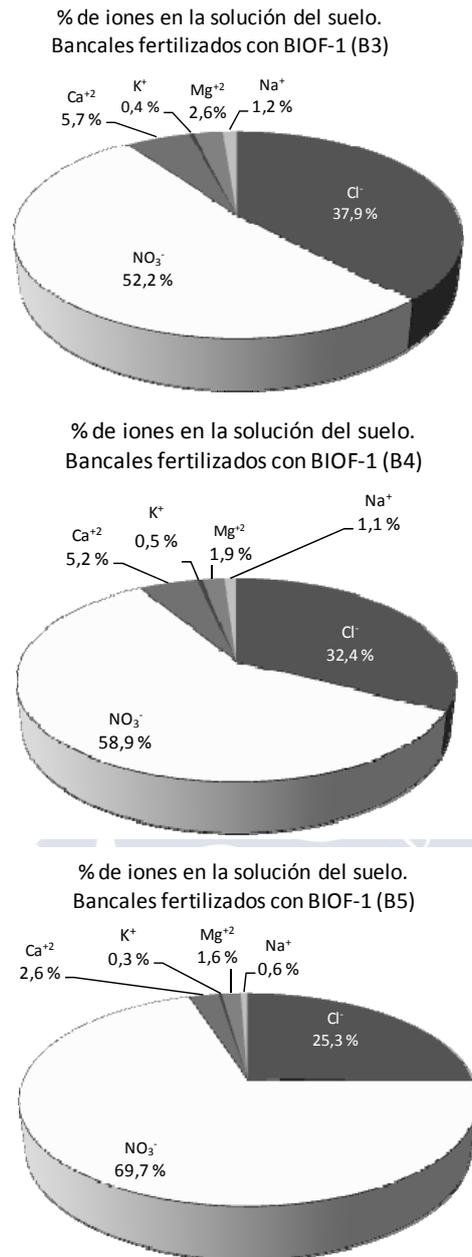


Figura 6

Porcentaje de iones en la solución del suelo según tratamientos tras ocho meses de cultivo de lechuga. Ensayo de otoño-invierno (C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>)). Ensayo de primavera (C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>))

En los cuatro ciclos de lechuga estudiados, todas las dosis del fertilizante orgánico BIOF-1 (B1, B2, B3, B4 y B5) determinaron en suelo porcentajes de sodio intercambiable (PSI) más altos que los tratamientos con fertilizantes minerales (M y

Nf). El incremento del PSI en los suelos donde se aportó el abono orgánico fue mayor cuanto mayor fue la dosis de BIOF-1 (tabla 2).

A pesar de ello, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) fue inferior al 15 % en todos los tratamientos y en todos los ciclos de lechuga, valor a partir del cual se considera que el suelo sufre problemas de sodificación (Richards et al., 1954) (tabla 2).

Tabla 2

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI en %) en suelo según tratamientos, en los cultivos de otoño-invierno y primavera al final de los cuatro ciclos de cultivo de lechuga. Ensayo de otoño-invierno (C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>)). Ensayo de primavera (C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>))

| PSI (%)                                  | Tratamientos      |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  | C                 | M                 | B1                | B2                | B3                | B4                |
| Ciclo I de otoño<br>(7-11-2001)          | 4,93 <sup>b</sup> | 3,81 <sup>c</sup> | 4,84 <sup>b</sup> | 5,99 <sup>a</sup> | 6,02 <sup>a</sup> | 6,03 <sup>a</sup> |
| Ciclo II de<br>invierno<br>(27-02-2002)  | 4,35 <sup>b</sup> | 3,54 <sup>c</sup> | 4,11 <sup>b</sup> | 4,19 <sup>b</sup> | 4,70 <sup>b</sup> | 5,23 <sup>a</sup> |
| PSI (%)                                  | C                 | M                 | Nf                | B3                | B4                | B5                |
| Ciclo I de<br>primavera<br>(30-04-2002)  | 2,62 <sup>b</sup> | 3,00 <sup>a</sup> | 2,97 <sup>a</sup> | 3,07 <sup>a</sup> | 3,20 <sup>a</sup> | 3,20 <sup>a</sup> |
| Ciclo II de<br>primavera<br>(26-06-2002) | 7,03 <sup>b</sup> | 5,45 <sup>c</sup> | 6,02 <sup>c</sup> | 6,66 <sup>b</sup> | 6,79 <sup>b</sup> | 9,79 <sup>a</sup> |

Para cada ciclo, valores seguidos de distinta letra indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

### 3.2. Metales

En ningún ciclo de cultivo hubo diferencias en el contenido de metales del suelo entre los distintos tratamientos de fertilización y el control (tabla 3), sugiriendo que ni los abonos minerales (nitrato amónico y Nitrofoska Stábil) ni ninguna dosis de BIOF-1 supusieron una fuente de metales a corto plazo. Por otra parte los contenidos en metales en suelo estuvieron muy por debajo de los contenidos máximos admitidos de metales en sustratos de cultivo tipo A (B.O.E., 2010).

Tabla 3

Valores medios en suelo de cromo, cobre, plomo, zinc, níquel y cadmio totales, según tratamientos, en los cultivos de otoño-invierno y primavera al final de cada ciclo de cultivo. Ensayo de otoño-invierno (C: control; M: Nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (266,7 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (366,7 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (532,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (1064,0 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>)). Ensayo de primavera (C: control; M: nitrato amónico (58,5 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); Nf: Nitrofoska Stábil (100,0 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>); B3: BIOF-1 (634,7 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), B4: BIOF-1 (1236,9 g m<sup>-2</sup> ~ 240 kg N ha<sup>-1</sup>) y B5: BIOF-1 (1904,0 g m<sup>-2</sup> ~ 360 kg N ha<sup>-1</sup>))

|   | Cr<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Cu<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Pb<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Zn<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | Cd<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Situación inicial<br/>(08-10-2001)</b>     |                              |                              |                              |                              |                              |
| C   | 32,63 <sup>a</sup>           | 24,58 <sup>a</sup>           | 20,83 <sup>a</sup>           | 96,36 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| M   | 33,27 <sup>a</sup>           | 26,77 <sup>a</sup>           | 24,67 <sup>a</sup>           | 117,11 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| B1  | 31,57 <sup>a</sup>           | 23,82 <sup>a</sup>           | 23,67 <sup>a</sup>           | 102,14 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| B2  | 34,58 <sup>a</sup>           | 25,47 <sup>a</sup>           | 22,17 <sup>a</sup>           | 108,30 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| B3  | 34,92 <sup>a</sup>           | 23,60 <sup>a</sup>           | 23,50 <sup>a</sup>           | 116,88 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| B4  | 32,28 <sup>a</sup>           | 23,95 <sup>a</sup>           | 24,50 <sup>a</sup>           | 87,88 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| <b>Ciclo II de invierno<br/>(7-02-2002)</b>   |                              |                              |                              |                              |                              |
| C   | 34,98 <sup>a</sup>           | 36,42 <sup>a</sup>           | 24,00 <sup>a</sup>           | 88,37 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| M   | 35,27 <sup>a</sup>           | 39,60 <sup>a</sup>           | 27,17 <sup>a</sup>           | 92,12 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B1  | 33,87 <sup>a</sup>           | 35,92 <sup>a</sup>           | 22,00 <sup>a</sup>           | 94,55 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B2  | 35,20 <sup>a</sup>           | 37,20 <sup>a</sup>           | 22,17 <sup>a</sup>           | 95,88 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B3  | 34,57 <sup>a</sup>           | 38,42 <sup>a</sup>           | 26,33 <sup>a</sup>           | 93,75 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B4  | 36,97 <sup>a</sup>           | 40,12 <sup>a</sup>           | 25,50 <sup>a</sup>           | 95,88 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| <b>Ciclo II de primavera<br/>(26-06-2002)</b> |                              |                              |                              |                              |                              |
| C   | 40,93 <sup>a</sup>           | 44,12 <sup>a</sup>           | 21,17 <sup>a</sup>           | 101,18 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| M   | 43,73 <sup>a</sup>           | 46,70 <sup>a</sup>           | 24,25 <sup>a</sup>           | 100,37 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| Nf  | 42,02 <sup>a</sup>           | 45,42 <sup>a</sup>           | 21,17 <sup>a</sup>           | 97,72 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B3  | 40,85 <sup>a</sup>           | 43,42 <sup>a</sup>           | 23,00 <sup>a</sup>           | 98,61 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B4  | 41,75 <sup>a</sup>           | 43,62 <sup>a</sup>           | 20,67 <sup>a</sup>           | 96,52 <sup>a</sup>           | n.d.                         |
| B5  | 42,33 <sup>a</sup>           | 44,93 <sup>a</sup>           | 27,17 <sup>a</sup>           | 103,50 <sup>a</sup>          | n.d.                         |
| C.M.A.*                                       | <b>70,00</b>                 | <b>70,00</b>                 | <b>45,00</b>                 | <b>200,00</b>                | <b>0,7</b>                   |

Para la situación inicial y dentro de cada ciclo de cultivo, en cada columna valores seguidos por distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . n.d.: no detectado. \*C.M.A.: contenidos máximos admitidos de metales pesados en sustratos de cultivo tipo A, en mg kg<sup>-1</sup>, establecido según el Real Decreto 865/2010 (B.O.E., 2010)

El contenido en Cu y Cr en suelo fue más alto en primavera que en otoño e invierno, mientras que los niveles de Pb y Zn no cambiaron desde que comenzó el primer ciclo de lechuga en otoño al último de primavera. Las fluctuaciones en el contenido de Cu pudieron deberse a la influencia de la humedad y la temperatura del suelo en el momento del muestreo (Sistani et al., 2004).

## 4. Discusión

### 4.1. Salinidad

Los valores de C.E. registrados en los cultivos de lechuga de otoño-invierno y primavera en suelo que se fertilizó con distintas dosis de BIOF-1, un abono comercial

salino de estiércol deshidratado y granulado de pollo, se situaron siempre por debajo del límite de  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , por tanto la aplicación de este abono orgánico no causó salinización secundaria (Allison y Richards, 1973). Sin embargo, la aplicación de BIOF-1 sí originó un aumento progresivo del nivel de sales, y por tanto de la C.E., con la dosis. Esto ocurrió especialmente en el primer cultivo de lechuga de primavera en aquellos bancales donde se aplicaron mayores cantidades de abono orgánico (B4:  $1237 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; B5:  $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Este efecto del estiércol de pollo sobre la salinidad del suelo ha sido también observado por otros autores en distintos cultivos (Shortall y William 1975; Kingery et al., 1994; Zhou et al., 2005; Davis et al., 2007; Yao et al., 2007; Azeez y Van Averbeke, 2012).

El aumento de salinidad en el suelo fue especialmente importante en primavera, no solo por la aplicación de BIOF-1 (sobre todo a las dosis más altas: B4:  $1237 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; B5:  $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sino también por la de fertilizantes minerales (tanto nitrato amónico como Nitrofoska Stábil). La dosis más alta de BIOF-1 en el ciclo I de otoño ( $1064 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y la aplicación de Nitrofoska Stábil y de las dosis más altas de BIOF-1 (B4:  $1237 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; B5:  $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en los dos ciclos de primavera determinaron valores de conductividad eléctrica en suelo superiores a  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Este nivel de conductividad también se superó en el primer ciclo de primavera en el tratamiento mineral de nitrato amónico.

Sin embargo, a pesar de producir una C.E. en suelo de más de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ , los tratamientos con dosis más elevadas de BIOF-1 ( $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$  en los cultivos de otoño-invierno, y B4:  $1237 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; B5:  $1904 \text{ g m}^{-2} \sim 360 \text{ kg ha}^{-1}$ , en los de primavera) no solo no disminuyeron el rendimiento sino que dieron lugar a las lechugas de mayor peso (figuras 13 y 17 del Capítulo II). Esto sugiere que el fertilizante BIOF-1 tuvo otros efectos positivos en la producción del cultivo que compensaron los negativos atribuidos a la alta C.E. del suelo, incluso a las dosis más altas de aplicación de este estiércol deshidratado y granulado.

En particular, pudo haber tenido un papel importante la aportación de carbohidratos solubles en agua, ya que se ha demostrado que el estiércol de pollo incrementa estas formas de C en el suelo en suelos salinos (Tejada et al., 2006). Los carbohidratos solubles en agua de las enmiendas orgánicas pueden contribuir a que haya una mayor concentración de materia orgánica lábil, favoreciendo la actividad microbiana del suelo (Van Veen et al., 1985), lo que repercute en mejoras en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos afectados por sales (Bronick y Lal, 2005, Clark et al., 2007) y, como consecuencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El potencial de los abonos orgánicos para favorecer el crecimiento de las plantas en suelos salinos a través de la mejora en sus propiedades físicas y químicas y en la actividad microbiana explica su utilización cada vez mayor a nivel mundial para la remediación de suelos salinos (Mitchell et al., 2000; Hanay et al., 2004; Sharma y Minhs, 2005; Tejada et al., 2006; Walker y Bernal, 2008).

No hay que descuidar, sin embargo, la importancia de la dosis de estiércol de pollo a aportar porque, aunque en el caso de BIOF-1, la producción de lechuga no se vio afectada por el incremento de salinidad del suelo causada por las dosis más altas del abono, no puede descartarse la posibilidad de que se produzca una acumulación de sales a largo plazo con la aplicación repetida, que podría llevar a problemas de salinización secundaria, sobre todo tratándose de suelos cultivados en invernadero. Una medida conservadora para prevenir esta situación sería utilizar dosis de BIOF-1 que no superen los  $532 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$  en otoño y los  $1236,9 \text{ g m}^{-2} \sim 240 \text{ kg N ha}^{-1}$  en primavera.

#### 4.2. Metales

Varios autores han sugerido que la utilización continuada de estiércol de pollo como fertilizante en suelos de cultivo podría producir la acumulación de ciertos metales en suelo, en particular de Cu y Zn (Nicholson et al., 1999; Cang et al., 2004; Sistani et al., 2004). En el presente estudio, la aplicación de BIOF-1, incluso a las dosis más altas, no incrementó el contenido de Cu ni de Zn ni de otros metales en suelo, pero no puede descartarse que pueda hacerlo si este fertilizante orgánico se utiliza repetidamente durante varios años. Kingery, et al. (1994), Pederson et al. (2002) y Sistani et al. (2004) encontraron que, tras un prolongado uso del estiércol de pollo como fertilizante, superior a los diez años, la acumulación de Zn y Cu en el suelo fue evidente tanto en superficie como a profundidades superiores a los 45 cm.

En este posible efecto a largo plazo, es evidente que influirá de manera determinante la cantidad de Cu que se añada en la ración de los pollos. En algunos casos el Cu, por su acción como promotor del crecimiento de estos animales, se incorpora en cantidades altas (Pesti y Bakalli, 1996).

Como medida de precaución, si bien el BIOF-1 tiene contenidos bajos en metales, sería recomendable aplicar dosis apropiadas considerando las características de cada partida, para evitar en todo momento superar contenidos de metales en el suelo que puedan ser perjudiciales para el cultivo, como así lo establece el Real Decreto 865/2010 para sustratos de tipo A (B.O.E., 2010).

## 5. Conclusión

La aplicación de BIOF-1 en el cultivo de lechuga aumentó la C.E.<sub>e</sub> en el suelo de forma proporcional a la dosis, superándose los valores limitantes de C.E.<sub>e</sub> para este cultivo ( $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ ) con la aplicación de  $1064 \text{ g m}^{-2}$  ( $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en los cultivos de otoño-invierno, y de  $1237 \text{ g m}^{-2}$  y  $1904 \text{ g m}^{-2}$  ( $240\text{-}360 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en los de primavera. A pesar de ello, no se produjeron descensos del rendimiento ni toxicidad en el cultivo. Con el fin de evitar posibles riesgos de salinización a largo plazo se recomienda

aplicar cantidades de BIOF-1 no superiores a 600-1200 g m<sup>-2</sup> (120-240 kg N ha<sup>-1</sup>) en cultivo de lechuga en invernadero dependiendo de la época de cultivo.

La aplicación del fertilizante BIOF-1 no supuso ningún riesgo a corto plazo (8 meses de cultivo) en el nivel de metales en suelo, lo cual se relaciona con el bajo contenido en metales que posee este abono orgánico.

## 6. Referencias bibliográficas

- Adeli, A; Twolde, H.; Sistani, K.; Rowe, D. 2010. Comparison of broiler litter and commercial fertilizer at equivalent N rates on soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41(20): 2432-2447.
- Allison, L.E.; Richards, L.A. 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Regional Salinity Laboratory (US). Ed. Limusa, México. Monografía. pp: 172.
- Álvarez, R.E. 1990. Estudio de las diferentes formas de Al presentes en solución de suelos de Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Ayers, R.S.; Wescott, D.W. 1976. Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to the pre-emergence period. *Soil Sci.* 83: 249-263.
- Azeez, J.O.; Van Averbeke, W. 2012. Dynamics of soil pH and electrical conductivity with the application of three animal manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43(6): 865-874.
- Bednar, A.J.; Garbarino, J.R.; Ferrer, I.; Rutherford, D.W.; Wershaw, R.L.; Ranville, J.F.; Wildeman, T.R. 2003. Photodegradation of roxarsone in poultry litter leachates. *Sci. Total Environ.* 302: 237-245.
- Bi, G; Evans, W.B.; Spiers, J.M.; Witcher, A.L. Effects of organic and inorganic fertilizers on marigold growth and flowering. *HortScience.* 45(9): 1373-1377.
- B.O.E. 2010. Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. *Boletín Oficial del Estado* nº170. pp: 61831-61859.
- Bolan, N.S.; Adriano, D.C.; Mahimairaja, S. 2004. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure. *Sci. Technol.* 4: 291-338.
- Bronick, C.J.; Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Brown, B.L.; Slaughter, A.D.; Schreiber, M.E. 2005. Controls on roxarsone transport in agricultural watersheds. *Appl. Geochem.* 20: 123-133.

- Calvo, R; Fernández, M.L.; Veiga, A. 1987. Composición de la solución del suelo en medios naturales de Galicia. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XLVI: 621-641.
- Cang, L.; Wang Y.J.; Zhou, D.M.; Dong, Y.H. 2004. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *J. Environ. Sci.* 16(3): 371-374.
- Carter, D.L. 1981. Salinity and plant productivity. *Handbook Series in Nutrition and Food.*
- Clark, G.J.; Dodgshun, N.; Sale, P.W.G.; Tang, C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2806-2817.
- Davis, A.S.; Jacobs, D.F.; Wightman, K.E. 2007. Organic matter amendment of fallow forest tree seedling nursery soils influences soil properties and biomass of sorghum cover crop. *Tree Planters Notes.* 52(1): 4-8.
- Goff J.P. 2006. Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Anim. Feed Sci. Technol.* 126: 237-257.
- Gómez, J.D.G.; López, J.A.G.; Garrido, E.S. 2003. The state of seawater intrusion in Spain. En: *Tecnología de la Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Costeros: Países Mediterráneos*. Tomo II. IGME. Madrid. pp: 169-185.
- Hanay, A.; Büyüksönmez, F.; Kiziloglu, F.M.; Canbolat, M.Y. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Sci. Util.* 12: 175-179.
- Hasegawa, P.M.; Bressan, R.A.; Zhu, J.K.; Bohnert, H.J. 2000. Plant celular and molecular responses to high salinity. *Ann. Rev. Plant Physiol. Molecular Biol.* 51: 463-499.
- Keeney, D.R.; Nelson, D.W. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: *Methods of soil análisis. Part 2. Chemical and microbial properties.* pp: 673-682.
- Kingery, W.L.; Wood, C.W.; Delaney, D.P.; Williams, J.C.; Mullins, G.L. 1994. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *J. Environ. Qual.* 23: 139-147.
- López-Mosquera, M.E.; Macías, F. 1993. Modificaciones en las propiedades físicas de suelos de invernadero de Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana.* 4: 91-99.
- Miceli, A.; Moncana, A.; D`Anna, F. 2003. Effect of salt stress in lettuce cultivation. *Acta Hort.* 609: 371-375.
- MAGRAMA. 2008. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND). Disponible en:

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-y-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/pand.aspx>. Último acceso: 30/04/2013.

- Mitchell, J.P.; Shennan, C.; Singer, M.J.; Peters, D.W.; Miller, R.O.; Prichard, T.; Grattan, S.R.; Rhoades, J.D.; May, D.M.; Munk, D.S. 2000. Impacts of gypsum and winter cover crops on soil physical properties and crop productivity when irrigated with saline water. *Agr. Water Manage.* 45: 55-71.
- Montanarella, L.; Rompaey, A.; van, Jones, R. 2002. Soil erosion risk in Europe. European Commission, Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. ISPRA. Italia.
- Nicholson, F.A.; Chambers, B.J.; Williams, J.R.; Unwin, R.J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresour. Technol.* 70: 23-31.
- Pederson, G.A.; Brink, G.E.; Fairbrother, T.E. 2002. Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter. *Agron. J.* 94: 895-904.
- Pesti, G.M.; Bakalli, R.I. 1996. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. *Poult. Sci.* 75: 1086-1091.
- Qadir, M.; Oster, J.D.; Schubert, S.; Noble, A.D.; Sahrawat, K.L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Adv. Agron.* 96: 197-247.
- Richards, L.A. (Ed.) 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Salinity Lab., U.S. Department of Agriculture Handbook 60. California, U.S.A.
- Rubeitz, I.G.; Solh, M.B. 1986. Changes in fertility levels of semiarid soils under greenhouse conditions. *Agronomy Abstracts. Amer. Soc. Agron. Madison.* 213.
- Sánchez-Merino, F.; González, M.C.; García, J.F.; Pérez, M.; Cuenda, J.M. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego, Consejo de abonado (Normas básicas). Ediciones Mundi-Prensa. pp: 280.
- Sharma, B.R.; Minhas, P.S. 2005. Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia. *Agr. Water Manage.* 78: 136-151.
- Shortall, G.; Liebhardt, W.C. 1975. Yield and growth of corn as affected by poultry manure. *J. Environ. Qual.* 4: 186-191.
- SoCo Project Team. 2009. Final report on the Project "Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)". Ed. Geertrui Louwagie, Stephan Hubertus Gay, Alison Burre. Disponible en: <http://soco.jrc.ec.europa.eu/factsheets.html>. Último acceso: 10/09/2009.
- Sonneveld, C. 1988. The salt tolerance of greenhouse crops. *Neth. J. Agric. Sci.* 36: 63-73.

- Sistani, K.R.; Brink, G.E.; Adeli, A.; Tewolde, H.; Rowe, D.E. 2004. Year-round soil nutrient dynamics from broiler litter application to three bermudagrass cultivars. *Agron. J.* 96(2): 525-530.
- Tejada, M.; Garcia, C.; Gonzalez, J.L.; Hernandez, M.T. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1413-1421.
- Tóth, G.; Montanarella, L.; Rusco, E. 2008. Updated Map of Salt Affected Soils in the European Union. En: Tóth, G.; Montanarella, L.; Rusco, E. (Eds). *Threats to Soil Quality in Europe EUR 23438. Scientific and Technical Research series Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.* pp: 61-74.
- Van Veen, J.A.; Ladd, J.N.; Amato, M. 1985. Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam and a clay soil incubated with  $(^{14}\text{C}(\text{U}))$  glucose and  $(^{15}\text{N})(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  under different moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.* 17: 747-756.
- Walker, D.J.; Bernal, M.P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresour. Technol.* 99: 396-403.
- Yao, L.X.; Li, G.L.; Tu, S.H.; Sulewski, G.; He, Z.H. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Sci. Total Environ.* 383(1-3): 106-114.
- Zhou, D.M.; Hao, X.Z.; Wang, Y.J.; Dong, Y.H.; Cang, L. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere.* 59: 167-175.



**Influencia del abonado con  
estiércol deshidratado y  
granulado de pollo en el  
rendimiento y la calidad nutritiva  
de pimiento tipo Lamuyo**

## Influencia del abonado con estiércol deshidratado y granulado de pollo en el rendimiento y la calidad nutritiva de pimiento tipo Lamuyo

---

### Resumen

En este capítulo se estudió la respuesta productiva, en cantidad y calidad, de un cultivo de pimiento tipo Lamuyo (*Capsicum annuum* L. cv. Vidi) en invernadero y abonado con estiércol de pollo de engorde. Se evaluaron también las modificaciones producidas en suelo tras nueve meses de cultivo. Para ello, se establecieron distintos tratamientos fertilizantes: en parcelas no fertilizadas, parcelas fertilizadas con abono mineral de liberación lenta (Nitrofoska Stábil aportando  $83,3 \text{ g m}^{-2} \sim 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), y parcelas con dosis crecientes de BIOF-1 (de  $265,9 \text{ g m}^{-2} \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$  a  $531,8 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). El ciclo de cultivo tuvo una duración de nueve meses (de abril a enero del año siguiente).

Los suelos abonados con BIOF-1, a cualquiera de las dosis estudiadas (B1, B2, B3 y B4), tras nueve meses de cultivo, no presentaron signos de salinización. El nitrógeno total y los cationes de cambio sufrieron variaciones significativas al final del cultivo, produciéndose en todos ellos un descenso generalizado en todos los tratamientos, consecuencia de la extracción por parte del cultivo. En cuanto a los elementos solubles en el extracto de saturación, también se produjeron descensos de los mismos en todas las parcelas fertilizadas, mientras que el nivel de cloruros y conductividad eléctrica se incrementó en las parcelas control. Con el aporte de estiércol de pollo se produjo acumulación de P en el suelo. En cuanto al rendimiento del cultivo, empleando cantidades no superiores a los  $265,9 \text{ g m}^{-2}$  de BIOF-1 (B1,  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), se obtuvieron producciones de pimiento, de igual calidad y categoría comercial, que los conseguidos con el fertilizante mineral de liberación lenta, Nitrofoska Stábil. En las parcelas fertilizadas, el peso fresco de cada fruto varió de 251 a 266 g y el número de frutos por planta de 15,7-18,7. En cuanto a la calidad nutritiva del fruto, el abonado, tanto mineral como orgánico, no produjeron diferencias significativas en el contenido de vitamina C, aunque el abonado con estiércol de pollo sí incrementó el nivel de P y Zn.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., estiércol de pollo, potencial fertilizante, rendimiento del cultivo, vitamina C

## 1. Introducción

---

El pimiento es uno de los cultivos hortícolas que mayor superficie ocupa en la península Ibérica. España es el quinto productor de pimiento del mundo, con una cantidad que supera las novecientas mil toneladas por año (FAOSTAT, 2010).

El cultivo del pimiento está ampliamente difundido por todo el país cultivándose frutos de todo tipo: dulces, picantes, de carne gruesa y también delgada. Según los últimos datos publicados en España, se producen alrededor de 929.300 t, en una superficie de 18.900 ha. En este contexto, la comunidad autónoma gallega representa el 6 % de la superficie (4ª comunidad) y el 5 % de la producción (3ª comunidad) (MAGRAMA, 2010). En Galicia se cultivan distintas variedades de pimiento adaptadas a diferentes zonas, respondiendo a ecotipos locales como Padrón, morrón de Vilanova, tipo Ourense, Arnoia, Couto, Poumxin, Mougán y Piñeira (Cordeiro et al., 1998). Las plantaciones de pimiento tipo Lamuyo y dulce italiano forman parte de las rotaciones hortícolas que habitualmente se llevan a cabo en invernadero.

Cualquiera de estas variedades de pimiento constituye una importante fuente de vitaminas y minerales, destacando especialmente por su contenido en ácido ascórbico (vitamina C), vitaminas (B1, B2, E y P), polifenoles, carotenoides, azúcares, potasio y otros minerales (Ca, Fe, P) (Osuna-García et al., 1998; Howard et al., 2000; Pérez-López et al., 2007; Jadczyk et al., 2011). La actividad antioxidante de la vitamina C está relacionada con la prevención de enfermedades degenerativas, diferentes cánceres, enfermedades neurológicas y cardiovasculares, cataratas y disfunciones oxidativas (Stahelin et al., 1989; Riemersma, 1994; Kaur y Kapoor, 2001).

La proporción de vitamina C y otros constituyentes del fruto del pimiento depende de varios factores, tales como el genotipo usado (Lee et al., 2005; Jadczyk et al., 2011), las condiciones climatológicas (principalmente la temperatura y la intensidad luminosa) (Lee et al., 2005; Wang, 2006; Bafeel y Ibrahim, 2008), el momento de madurez del fruto (Howard et al., 2000; Flores et al., 2009; Menichini et al., 2009), las técnicas de recolección y conservación (González et al., 2005), y las prácticas culturales llevadas a cabo durante el cultivo (Mozafar, 1994; Marín et al., 2004; Rubio et al., 2010).

En cuanto a las prácticas culturales, es la fertilización del cultivo del pimiento, y en concreto el nitrógeno, el elemento nutricional que más se ha estudiado. Son diversos los trabajos que intentan relacionar la fertilización nitrogenada con la calidad nutritiva del pimiento, centrándose principalmente en el contenido en vitamina C del fruto. Hasta el momento, no está clara la influencia del aporte de nitrógeno sobre la concentración de esta vitamina, pudiendo según algunos autores, incrementarla (Burell et al., 1940; Alabi, 2006; Abu-Zahra et al., 2011), producir el efecto contrario (Mozafar, 1993; Lee y Kader, 2000; Worthington, 2001; Bourn y Prescott, 2002) o simplemente carecer de influencia (Sedyama, et al., 2009; Aminifard et al., 2012).

El pimiento es un cultivo hortícola de ciclo largo (8-10 meses que puede adecuarse a las características de un abono orgánico de liberación lenta, como el estiércol de pollo, pues las mayores exigencias de nitrógeno y potasio se dan durante la formación de las primeras flores y en el cuajado de los primeros frutos, a los 2 y 3 meses de transcurrida la plantación (Hochmuth, 1996; Hanlon y Hochmuth, 2000; Basurto, 2013). El empleo de abonos orgánicos que liberan gradualmente los nutrientes puede convertirse en una alternativa viable y sostenible para productores que no empleen fertirrigación o cuando realizan estos cultivos de forma ecológica.

En este capítulo se estudió la respuesta productiva y la calidad del fruto de pimiento tipo Lamuyo a la fertilización orgánica en preplantación con el estiércol de pollo de engorde deshidratado y granulado, BIOF-1. Se evaluaron las respuestas de dosis crecientes de estiércol de pollo en comparación con un abonado mineral de liberación lenta, en invernadero.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Cultivo de raigrás italiano

Tras los cuatro ciclos de cultivo de lechuga, en los 18 bancales del invernadero se procedió a la eliminación de la película de polietileno negro para sembrar raigrás italiano (*Lolium multiflorum L.*) (figura 1). La siembra se llevó a cabo el 31 de julio de 2002 (figura 2).

El objetivo del establecimiento de este cultivo fue extraer del suelo el exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno, que pudiesen quedar tras los cuatro cultivos de lechuga anteriores. El raigrás permaneció en las parcelas durante ocho meses, período en el cual se le hicieron tres cortes.



Figura 1  
Cultivo de raigrás italiano en los bancales del invernadero

El 30 de marzo de 2003, se retiró el raigrás y se labraron cada uno de los bancales de forma manual. En la figura 2 se esquematiza este proceso (figura 2).

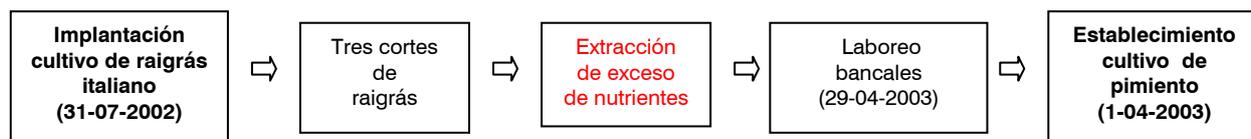
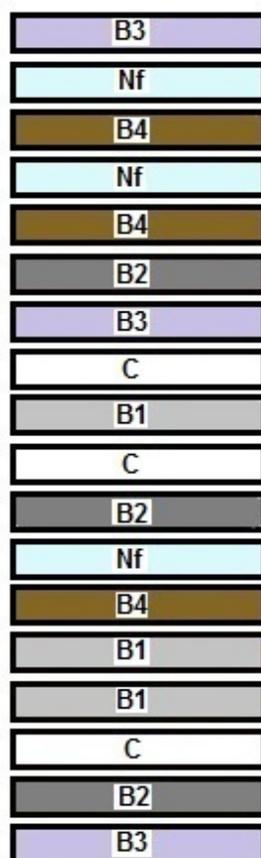


Figura 2  
Calendario de los cultivos

## 2.2. Cultivo de pimiento

Tras ocho meses de cultivo de raigrás, el 1 de abril de 2003 se estableció el cultivo de pimiento (figura 2), para el cual se aplicaron, al azar, seis tratamientos fertilizantes (3 bancales por tratamiento) (figura 3). Se dispusieron sobre los mismos bancales donde se había cultivado la lechuga con anterioridad y se mantuvo el mismo diseño: un tratamiento control que no recibió fertilización (C), aplicación de 83,3 g m<sup>-2</sup> de Nitrofoska Stábil para suministrar 100 kg N ha<sup>-1</sup> (Nf), y aplicación de 4 dosis crecientes del producto comercial de estiércol de pollo BIOF-1 (B1: 265,9, B2: 354,5, B3: 443,2 y B4: 531,8 g m<sup>-2</sup>) para proporcionar respectivamente 60, 80, 100 y 120 kg N ha<sup>-1</sup> (B1, B2, B3 y B4). Para el cálculo de dosis se tuvo en cuenta un porcentaje de mineralización del estiércol de pollo del 60 % (Evers, 1999; Kissel et al., 2008) y que la riqueza de la partida del BIOF-1 utilizada contenía un 3,7 % de N (tabla 1).



Tratamientos:

- C: Parcelas Control.
- Nf: Abono Mineral (Nitrofoska Stábil). Dosis =  $83,3 \text{ g m}^{-2} \cong 100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .
- B1: Abono orgánico. Dosis =  $265,9 \text{ g m}^{-2} \cong 60 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .
- B2: Abono orgánico. Dosis =  $354,5 \text{ g m}^{-2} \cong 80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .
- B3: Abono orgánico. Dosis =  $443,2 \text{ g m}^{-2} \cong 100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .
- B4: Abono orgánico. Dosis =  $531,8 \text{ g m}^{-2} \cong 120 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .

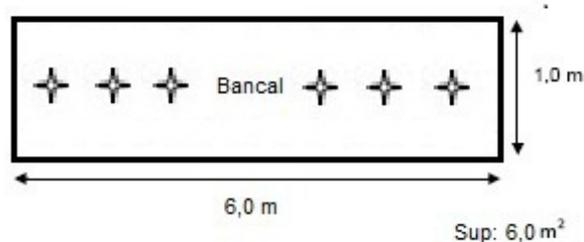


Figura 3  
Distribución de los bancales por tratamientos. C: control; Nf: abonado mineral; B1, B2, B3 y B4: dosis crecientes de abonado con BIOF-1

Las principales características de la partida del abono orgánico BIOF-1 y del Nitrofoska Stábil, utilizados en el ensayo de este cultivo, se detallan en la tabla 1. No se llevó a cabo fertirrigación durante el ciclo de cultivo.

Tabla 1  
Composición de los abonos utilizados en el ensayo (% p/p)

|                   | m.s.<br>(%) | N<br>(%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(%) | K <sub>2</sub> O<br>(%) | MgO<br>(%) | B<br>(%) | Fe<br>(%) | Zn<br>(%) |
|-------------------|-------------|----------|--------------------------------------|-------------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| Nitrofoska Stábil | -           | 12,0     | 12,0                                 | 17,0                    | 2,0        | 0,02     | 0,01      | 0,01      |
| BIOF-1            | 87,64       | 3,7      | 2,8                                  | 3,0                     | 0,9        | -        | 0,07      | 0,02      |

El suelo utilizado en el ensayo fue un Umbrisol húmico desarrollado sobre esquistos (esquistos serie Alba-Vilalba), de textura franca, con unas condiciones de pH y contenido en materia orgánica adecuadas para la implantación del cultivo del pimiento (Viñals, et al., 1996; Maroto, 2002). Antes de establecer el ensayo se cuantificó el nivel inicial de nutrientes en cada uno de los bancales.

Tras la incorporación de los tratamientos fertilizantes sobre la superficie de las parcelas, se procedió al acolchado de todos los bancales, como se hizo en los ensayos previos de lechuga.

El 1 de abril de 2003 se transplantaron las plantas de pimiento, de 10-12 cm de altura utilizando la variedad "Vidi F1". Se trata de un pimiento tipo "Lamuyo", que tiene un vigor de medio a débil, pero es muy productivo y temprano, con frutos de calidad excelente, de color rojo intenso en su madurez. El tamaño del fruto de esta variedad suele ser de 15 a 16 cm de longitud, 80-90 mm de ancho y peso medio de 220-250 g (Vilmorin, 2013).

Se dejó una distancia entre plantas de 50 cm y entre líneas de 1,50 m, lo que determinó una densidad de 1,33 plantas por m<sup>2</sup> y un total de 216 plantas en todo el ensayo (18 bancales x 12 plantas parcela). La densidad obtenida fue resultado de la distribución ya existente en los bancales del invernadero tras los cuatro ciclos de lechuga previamente cosechados.

El riego fue aplicado por goteo para mantener el suelo con un potencial hídrico entre 0,02 y 0,025 MPa, indicado por tensiómetros colocados en cada bancal a una profundidad de 15 cm.

El control de temperatura se realizó mediante un sistema de ventilación automatizado, utilizando para ello, tanto ventanas laterales como cenitales, manteniéndose la temperatura en un rango entre los 10 °C y los 35 °C.

Los pimientos fueron tutorados según el sistema holandés, que es el que se está imponiendo últimamente en las zonas de cultivo dedicadas a esta especie hortícola. La razón de esta práctica de manejo estriba en que con él se obtiene una mejor calidad del fruto (mayor homogeneidad, grosor y uniformidad de coloración), además de ser un método más funcional y sencillo de instalar (Viñals, et al., 1996). Se trata de colocar un doble tejido de malla de nailon con cuadros de 20 x 20 cm<sup>2</sup> para cada línea de plantas, atado a tubos de hierro galvanizado en los extremos de los bancales (figura 4).

La poda del cultivo se limitó a la supresión de los brotes axilares y las hojas viejas que nacieron por debajo de la primera bifurcación de la planta, los días 70 y 71 del ciclo de cultivo. Además, a los 89 días se eliminaron los frutos localizados en medio de la cruz, con el objetivo de obtener frutos de mayor calibre, uniformidad y precocidad, así como mayores rendimientos (Viñals, et al., 1996; Maroto, 2002). El cultivo se dio por finalizado el día 12 de enero de 2004 (a los 289 días de su trasplante).



Figura 4  
Entutorado vertical con malla verde  
de cuadros (20 x 20 cm<sup>2</sup>)

Durante el desarrollo del cultivo se aplicó un producto fitosanitario contra pulgón (Pirimicab 50 % y Lambda Cihalotrin 2,5 %), con plazo de seguridad de tres días para pimiento. Se hizo un tratamiento semanalmente, desde el día 100 de vida del cultivo hasta el día 150, lo que supuso un total de siete tratamientos con este producto.

### 2.3. Control de la temperatura

Una buena ventilación es necesaria para un eficaz control de la temperatura en el interior del invernadero. La medición de este parámetro es fundamental en el cultivo de cualquier tipo de material vegetal en estas condiciones. A lo largo de los nueve meses que duró el cultivo, la temperatura del aire del invernadero fue registrada mediante un termohidrógrafo.

En los dos primeros meses, así como a partir del día 198 de la plantación, las temperaturas mínimas casi siempre estuvieron por debajo de la temperatura mínima óptima para el cultivo (10 °C) (figura 5). Sin embargo, durante la floración y fructificación de la plantación, se produjeron momentos en los cuales las temperaturas fueron superiores a los 35 °C (sobre todo en el periodo comprendido entre los días 118 y 134 de plantación) (figura 5).

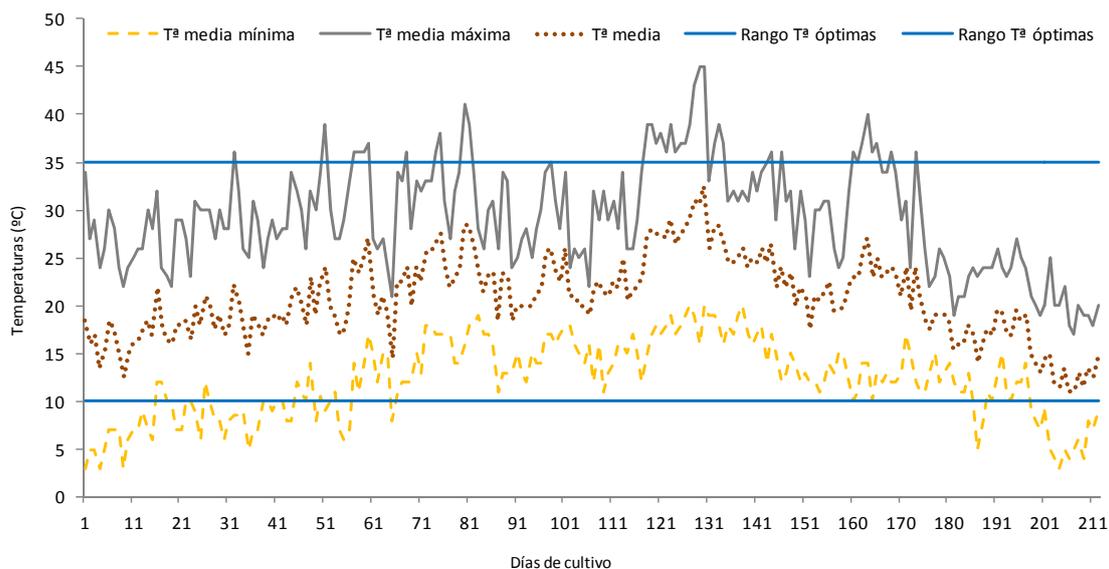


Figura 5  
Temperaturas máximas y mínimas medias diarias medidas dentro del invernadero durante el cultivo

#### 2.4. Toma de muestras y análisis de suelo

Antes del trasplante y al final del cultivo se recogieron, con ayuda de una sonda cilíndrica de tubo hueco de 5 cm de diámetro, muestras de suelo compuestas, en los primeros 10 cm de todos los bancales.

Los análisis de conductividad eléctrica, cationes y aniones solubles ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  y  $\text{NO}^{-3}$ ), metales (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) en suelo, y el cálculo del PSI, se llevaron a cabo de la misma forma que los descritos en el Capítulo IV de esta tesis, titulado “Efectos del abonado con estiércol deshidratado y granulada de pollo en el contenido salino y nivel de metales en suelo en cultivo de lechuga”.

Para la determinación del pH en  $\text{H}_2\text{O}$  del suelo, se siguió el método de Guitián y Carballas (1976); el carbono (C) y el nitrógeno total ( $\text{N}_T$ ) fueron medidos con un analizador simultáneo de carbono y nitrógeno, LECO CNS-2000. La materia orgánica se obtuvo a partir del contenido de carbono, multiplicando este por el factor de Van Bemmelen (1,724). El P disponible fue extraído con  $\text{NaHCO}_3$  0,5 M (Olsen y Sommers, 1982) y determinado por espectrofotometría de luz visible con un espectrofotómetro SPEKOL 1100 CARL ZEISS, tras reacción colorimétrica con molibdato. Los cationes de cambio ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Al}^{+3}$ ) fueron extraídos con cloruro amónico al pH del suelo y medidos por absorción (Peech et al., 1947) y emisión atómica en el extracto resultante.

## 2.5. Toma de muestras y análisis de fruto

Se recogieron todos los pimientos maduros de color rojo ( $n = 1047$ ) del total de las 15 plantas seleccionadas por tratamiento descritas en el apartado anterior, previa identificación aleatoria de 5 plantas por bancal, descartándose las que estaban situadas en los extremos (figura 6).



Figura 6  
Plantas de pimiento identificadas en cada bancal

Se comenzó la recolección en el mes de agosto y duró hasta el mes de enero, llevándose a cabo un total de siete cosechas; a los 147, 163, 178, 196, 232, 259 y 289 días después de implantado el cultivo.

Todos los frutos comerciales se pesaron en fresco, y posteriormente se midieron con un calibre, con una precisión de mm, tanto en longitud como en anchura.

Además, en la segunda cosecha completamente madura (día 163 de cultivo), se recogieron 15 pimientos por tratamiento, que se llevaron al laboratorio (figura 7). Cada uno de estos pimientos se dividió longitudinalmente en dos mitades. Una de las mitades se secó en estufa a 60 °C y con posterioridad se molió y fue sometida a un ataque con ácido sulfúrico y agua oxigenada al 30 % (Thomas et al., 1967) para determinación de N mediante el método Kjeldahl, P por colorimetría (Chapman, 1.984) y K, Ca, Mg, Na, Fe, Ni, Mn, Mo, Cu y Zn mediante espectrofotometría de absorción y/o emisión atómica, según el caso. La proteína bruta se calculó a partir del N (García y Fernández, 2012). La otra mitad se trituró y homogenizó en fresco para analizar el contenido en ácido ascórbico (vitamina C) empleando técnicas de HPLC, según el método descrito por Nisperos-Carriedo et al. (1992), modificado por Osuna-García et al. (1998).



Figura 7  
Pimientos maduros para ser recogidos

## 2.6. Análisis de muestra de abono orgánico

La partida de estiércol de pollo utilizado en este ensayo se secó en estufa a 105 °C durante 24 horas para determinar la humedad; posteriormente se molió hasta alcanzar un tamaño de 2 mm, donde se determinó el N total con un autoanalizador LECO CNS-2000. Para la determinación de P, K, Mg, B, Fe y Zn, se realizó un ataque con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 30 % a 360 °C según el método de Thomas et al. (1967). En el extracto obtenido, se determinó P total por colorimetría del complejo azul fosfomolibdico (Chapman y Pratt, 1961), B total por colorimetría de azometina-H (Wolf, 1974), y K, Mg, Fe y Zn por espectrofotometría de absorción/emisión atómica. Los resultados se contrastaron con material de referencia certificado (Community Bureau of Reference N° 144 R).

## 2.7. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a una comparación de medias a través de un análisis de varianza con un solo factor, Anova I, aplicando el test de diferencia mínima significativa (DMS), comprobando previamente si los datos eran normales (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y efectuando la prueba de homogeneidad de la varianza de Levene. Cuando las varianzas no resultaron homogéneas, se aplicó la prueba de Mann-Whitney. Además, para cada parámetro de suelo que se analizó, se llevó a cabo un ANOVA de dos vías: tiempo y tratamiento fertilizante, así como la interacción entre ambos factores. Para ello se empleó el paquete estadístico SPSS 17.0.

### 3. Resultados

#### 3.1. Modificaciones producidas en suelo

Como se muestra en las tablas 2 y 3, las condiciones de partida de los suelos fueron similares en la mayor parte de los parámetros analizados. Sin embargo, los niveles iniciales de P disponible, conductividad eléctrica y elementos solubles, fueron superiores en los bancales destinados a los tratamientos B3 y B4, es decir aquellos que en el cultivo de lechuga habían recibido las dosis más altas de estiércol de pollo. A pesar de las extracciones producidas por el cultivo de raigrás, no se consiguió que en estos bancales y para esos parámetros, los suelos quedasen libres de la influencia del abonado anterior.

Con respecto a las condiciones iniciales, los únicos parámetros del suelo que no se vieron modificados significativamente al final del ciclo de cultivo fueron el pH y el contenido en materia orgánica. El nitrógeno total y los cationes de cambio sufrieron variaciones significativas, produciéndose en todos ellos, un descenso generalizado en todos los tratamientos, como cabría esperar después de la extracción realizada por el cultivo durante su ciclo. El P disponible siguió la tendencia contraria, es decir, en todas las parcelas fertilizadas el nivel de P aumentó respecto a la situación inicial. En cuanto a los elementos solubles en el extracto de saturación, también se produjo un descenso de los mismos, originado por el consumo por parte del cultivo; la excepción fueron las parcelas control (C) en las que se incrementó el nivel de cloruros y la conductividad eléctrica (Tablas 2 y 3).

Al final del ciclo de cultivo se encontraron diferencias significativas, con respecto a las parcelas sin fertilizar, en el caso del P y para todos los tratamientos fertilizantes. Los incrementos resultaron ser superiores en más del 50 %, en todos los casos con respecto a las parcelas control (Tabla 2). Con respecto al control los niveles de N total, ClCe, Mg y K fueron mayores y diferentes estadísticamente en las parcelas abonadas con la dosis más elevada de BIOF-1 (B4), y en N, P y K respecto a las parcelas mineral (Nf).

En cuanto a los elementos solubles (tabla 3) al final del cultivo las parcelas control (C) aumentaron su contenido en iones no deseables como los cloruros, lo que propició el incremento de su conductividad eléctrica, en comparación con los otros tratamientos. El resto de los elementos solubles ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , y  $\text{Mg}^{+2}$ ) siempre fueron más altos en las parcelas fertilizadas que en el control (C), especialmente, en aquellas parcelas que recibieron la dosis más alta de BIOF-1 (B4). Para los tratamientos ensayados, tras el desarrollo del cultivo, no se originaron incrementos de sales perjudiciales para el cultivo, alcanzando las parcelas más salinas niveles de  $0,5 \text{ dSm}^{-1}$  (C) y niveles de PSI de 4,06 en el tratamiento B2, al final del mismo.

Tabla 2

Valores medios y desviaciones típicas de los principales parámetros de suelo según tratamientos. C: control; Nf: Nitrofoska Stábil (83,3 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (265,9 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (354,5 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (443,2 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>): al inicio y al final del cultivo, junto con los resultados del análisis de varianza

| Parámetro   | Inicio cultivo            | Final cultivo            | Tiempo | Tratamiento fertilizante | Tiempo x Tratamiento fertilizante |
|---|---------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|
| <b>pH H<sub>2</sub>O (1:2,5)</b>                          |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 6,26 <sup>a</sup> ±0,11   | 6,04 <sup>a</sup> ±0,11  |        |                          |                                   |
| Nf  | 6,18 <sup>a</sup> ±0,15   | 5,58 <sup>a</sup> ±0,12  |        |                          |                                   |
| B1  | 5,50 <sup>a</sup> ±0,66   | 5,90 <sup>a</sup> ±0,03  | N.S.   | N.S.                     | N.S.                              |
| B2  | 6,07 <sup>a</sup> ±0,20   | 5,83 <sup>a</sup> ±0,25  |        |                          |                                   |
| B3  | 6,06 <sup>a</sup> ±0,41   | 5,61 <sup>a</sup> ±0,43  |        |                          |                                   |
| B4  | 5,75 <sup>a</sup> ±0,06   | 5,47 <sup>a</sup> ±0,14  |        |                          |                                   |
| <b>M.O. (%)</b>   |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 3,51 <sup>a</sup> ±0,41   | 3,00 <sup>b</sup> ±0,16  |        |                          |                                   |
| Nf  | 3,84 <sup>a</sup> ±0,57   | 3,19 <sup>ab</sup> ±0,06 |        |                          |                                   |
| B1  | 3,30 <sup>a</sup> ±0,66   | 3,33 <sup>ab</sup> ±0,15 | N.S.   | N.S.                     | N.S.                              |
| B2  | 3,50 <sup>a</sup> ±1,18   | 3,32 <sup>ab</sup> ±0,19 |        |                          |                                   |
| B3  | 2,44 <sup>a</sup> ±0,42   | 3,49 <sup>ab</sup> ±0,31 |        |                          |                                   |
| B4  | 3,53 <sup>a</sup> ±0,57   | 4,12 <sup>a</sup> ±0,40  |        |                          |                                   |
| <b>N<sub>T</sub> (%)</b>                                  |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 0,29 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,10 <sup>b</sup> ±0,00  |        |                          |                                   |
| Nf  | 0,33 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,11 <sup>b</sup> ±0,01  |        |                          |                                   |
| B1  | 0,36 <sup>a</sup> ±0,05   | 0,12 <sup>b</sup> ±0,01  | ***    | ***                      | N.S.                              |
| B2  | 0,36 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,13 <sup>b</sup> ±0,01  |        |                          |                                   |
| B3  | 0,47 <sup>a</sup> ±0,14   | 0,15 <sup>ab</sup> ±0,03 |        |                          |                                   |
| B4  | 0,42 <sup>a</sup> ±0,04   | 0,20 <sup>a</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| <b>CIC<sub>e</sub> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b> |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 11,56 <sup>b</sup> ±1,79  | 6,77 <sup>b</sup> ±1,41  |        |                          |                                   |
| Nf  | 14,49 <sup>a</sup> ±2,94  | 7,15 <sup>ab</sup> ±1,08 |        |                          |                                   |
| B1  | 14,29 <sup>a</sup> ±1,51  | 7,52 <sup>a</sup> ±0,21  | ***    | ***                      | N.S.                              |
| B2  | 11,64 <sup>b</sup> ±0,91  | 6,57 <sup>b</sup> ±0,92  |        |                          |                                   |
| B3  | 15,25 <sup>a</sup> ±2,26  | 8,40 <sup>a</sup> ±1,47  |        |                          |                                   |
| B4  | 13,67 <sup>ab</sup> ±1,75 | 7,86 <sup>a</sup> ±0,53  |        |                          |                                   |
| <b>Ca<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b> |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 9,73 <sup>a</sup> ±1,69   | 5,82 <sup>a</sup> ±1,26  |        |                          |                                   |
| Nf  | 12,5 <sup>a</sup> ±2,73   | 6,10 <sup>a</sup> ±0,94  |        |                          |                                   |
| B1  | 12,3 <sup>a</sup> ±1,28   | 6,41 <sup>a</sup> ±0,09  | ***    | N.S.                     | N.S.                              |
| B2  | 9,74 <sup>a</sup> ±0,87   | 5,52 <sup>a</sup> ±0,80  |        |                          |                                   |
| B3  | 12,7 <sup>a</sup> ±1,84   | 7,12 <sup>a</sup> ±1,26  |        |                          |                                   |
| B4  | 11,2 <sup>a</sup> ±1,29   | 6,34 <sup>a</sup> ±0,38  |        |                          |                                   |
| <b>Mg<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b> |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 0,99 <sup>a</sup> ±0,10   | 0,67 <sup>b</sup> ±0,12  |        |                          |                                   |
| Nf  | 1,07 <sup>a</sup> ±0,09   | 0,77 <sup>ab</sup> ±0,12 |        |                          |                                   |
| B1  | 1,16 <sup>a</sup> ±0,18   | 0,83 <sup>ab</sup> ±0,09 | ***    | ***                      | N.S.                              |
| B2  | 1,07 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,76 <sup>ab</sup> ±0,09 |        |                          |                                   |
| B3  | 1,61 <sup>a</sup> ±0,37   | 0,97 <sup>ab</sup> ±0,17 |        |                          |                                   |
| B4  | 1,55 <sup>a</sup> ±0,41   | 1,18 <sup>a</sup> ±0,13  |        |                          |                                   |
| <b>Na<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>  |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 0,84 <sup>a</sup> ±0,00   | 0,28 <sup>a</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| Nf  | 0,92 <sup>a</sup> ±0,12   | 0,28 <sup>a</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| B1  | 0,83 <sup>a</sup> ±0,05   | 0,28 <sup>a</sup> ±0,03  | ***    | N.S.                     | N.S.                              |
| B2  | 0,83 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,29 <sup>a</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| B3  | 0,94 <sup>a</sup> ±0,05   | 0,31 <sup>a</sup> ±0,04  |        |                          |                                   |
| B4  | 0,92 <sup>a</sup> ±0,05   | 0,34 <sup>a</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| <b>K<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>   |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 0,74 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,43 <sup>b</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| Nf  | 0,62 <sup>a</sup> ±0,02   | 0,40 <sup>b</sup> ±0,07  |        |                          |                                   |
| B1  | 0,70 <sup>a</sup> ±0,13   | 0,48 <sup>b</sup> ±0,06  | ***    | ***                      | N.S.                              |
| B2  | 0,77 <sup>a</sup> ±0,01   | 0,49 <sup>b</sup> ±0,05  |        |                          |                                   |
| B3  | 1,20 <sup>a</sup> ±0,14   | 0,54 <sup>b</sup> ±0,05  |        |                          |                                   |
| B4  | 1,23 <sup>a</sup> ±0,34   | 0,91 <sup>a</sup> ±0,12  |        |                          |                                   |
| <b>P (mg kg<sup>-1</sup>)</b>                             |                           |                          |        |                          |                                   |
| C   | 100,0 <sup>b</sup> ±2,38  | 88 <sup>c</sup> ±9,32    |        |                          |                                   |
| Nf  | 101,1 <sup>b</sup> ±7,75  | 199 <sup>b</sup> ±8,46   |        |                          |                                   |
| B1  | 113,0 <sup>b</sup> ±6,82  | 200 <sup>b</sup> ±14,6   | ***    | ***                      | N.S.                              |
| B2  | 109,7 <sup>b</sup> ±6,07  | 208 <sup>b</sup> ±3,35   |        |                          |                                   |
| B3  | 135,1 <sup>a</sup> ±10,3  | 218 <sup>b</sup> ±11,4   |        |                          |                                   |
| B4  | 144,7 <sup>a</sup> ±6,32  | 249 <sup>a</sup> ±8,89   |        |                          |                                   |

Para cada parámetro, distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ . Tiempo x tratamiento fertilizante indica interacción estadística (significativa o no) entre estos dos factores (\*\*\*: diferencia significativa; N.S.: no significativa)

Tabla 3

Valores medios y desviaciones típicas de conductividad eléctrica y aniones y cationes en el extracto de saturación del suelo, según tratamientos. C: control; Nf: Nitrofoska Stábil (83,3 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (265,9 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (354,5 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (443,2 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) al inicio y al final del cultivo, junto con los resultados del análisis de varianza

| Parámetro                                    | Inicio cultivo           | Final cultivo            | Tiempo | Tratamiento fertilizante | Tiempo x Tratamiento fertilizante |
|--|--------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|
| <b>C.E. (dS m<sup>-1</sup>)</b>              |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 0,15 <sup>d</sup> ±0,05  | 0,49 <sup>b</sup> ±0,00  |        |                          |                                   |
| Nf   | 0,14 <sup>d</sup> ±0,01  | 0,14 <sup>ab</sup> ±0,05 |        |                          |                                   |
| B1   | 0,21 <sup>c</sup> ±0,09  | 0,13 <sup>ab</sup> ±0,02 | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 0,22 <sup>c</sup> ±0,03  | 0,10 <sup>ab</sup> ±0,03 |        |                          |                                   |
| B3   | 0,71 <sup>b</sup> ±0,10  | 0,06 <sup>c</sup> ±0,01  |        |                          |                                   |
| B4   | 1,01 <sup>a</sup> ±0,05  | 0,16 <sup>a</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| <b>Cl<sup>-</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b>  |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 1,10 <sup>b</sup> ±0,32  | 1,78 <sup>a</sup> ±0,24  |        |                          |                                   |
| Nf   | 1,02 <sup>b</sup> ±0,23  | 0,92 <sup>c</sup> ±0,15  |        |                          |                                   |
| B1   | 1,51 <sup>b</sup> ±0,28  | 0,58 <sup>d</sup> ±0,02  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 2,04 <sup>b</sup> ±0,33  | 0,89 <sup>c</sup> ±0,09  |        |                          |                                   |
| B3   | 9,03 <sup>a</sup> ±2,85  | 1,00 <sup>c</sup> ±0,13  |        |                          |                                   |
| B4   | 13,70 <sup>a</sup> ±3,69 | 1,37 <sup>b</sup> ±0,00  |        |                          |                                   |
| <b>NO<sup>3-</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b> |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 0,23 <sup>c</sup> ±0,03  | 0,06 <sup>c</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| Nf   | 0,06 <sup>d</sup> ±0,00  | 0,14 <sup>b</sup> ±0,07  |        |                          |                                   |
| B1   | 0,25 <sup>c</sup> ±0,06  | 0,10 <sup>b</sup> ±0,03  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 0,26 <sup>c</sup> ±0,08  | 0,16 <sup>b</sup> ±0,08  |        |                          |                                   |
| B3   | 1,03 <sup>b</sup> ±0,24  | 0,09 <sup>b</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| B4   | 3,24 <sup>a</sup> ±0,46  | 0,24 <sup>a</sup> ±0,07  |        |                          |                                   |
| <b>K<sup>+</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b>   |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 0,21 <sup>c</sup> ±0,07  | 0,04 <sup>d</sup> ±0,00  |        |                          |                                   |
| Nf   | 0,13 <sup>c</sup> ±0,04  | 0,12 <sup>c</sup> ±0,01  |        |                          |                                   |
| B1   | 0,25 <sup>c</sup> ±0,09  | 0,10 <sup>c</sup> ±0,03  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 0,29 <sup>c</sup> ±0,05  | 0,11 <sup>c</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| B3   | 0,56 <sup>b</sup> ±0,16  | 0,19 <sup>b</sup> ±0,03  |        |                          |                                   |
| B4   | 2,19 <sup>a</sup> ±0,31  | 0,29 <sup>a</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| <b>Ca<sup>++</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b> |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 2,31 <sup>c</sup> ±0,00  | 0,48 <sup>d</sup> ±0,07  |        |                          |                                   |
| Nf   | 1,43 <sup>d</sup> ±0,06  | 1,47 <sup>b</sup> ±0,36  |        |                          |                                   |
| B1   | 2,28 <sup>c</sup> ±1,05  | 0,81 <sup>c</sup> ±0,14  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 2,33 <sup>c</sup> ±0,40  | 1,32 <sup>b</sup> ±0,35  |        |                          |                                   |
| B3   | 5,73 <sup>b</sup> ±0,09  | 1,40 <sup>b</sup> ±0,00  |        |                          |                                   |
| B4   | 12,10 <sup>a</sup> ±4,00 | 1,80 <sup>a</sup> ±0,39  |        |                          |                                   |
| <b>Mg<sup>++</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b> |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 0,55 <sup>c</sup> ±0,03  | 0,11 <sup>d</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| Nf   | 0,32 <sup>c</sup> ±0,00  | 0,71 <sup>b</sup> ±0,21  |        |                          |                                   |
| B1   | 0,67 <sup>c</sup> ±0,13  | 0,19 <sup>d</sup> ±0,04  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 0,67 <sup>c</sup> ±0,18  | 0,35 <sup>c</sup> ±0,11  |        |                          |                                   |
| B3   | 2,04 <sup>b</sup> ±0,00  | 0,71 <sup>b</sup> ±0,23  |        |                          |                                   |
| B4   | 5,12 <sup>a</sup> ±1,40  | 1,38 <sup>a</sup> ±0,38  |        |                          |                                   |
| <b>Na<sup>+</sup> (mmol L<sup>-1</sup>)</b>  |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 0,47 <sup>c</sup> ±0,09  | 0,45 <sup>b</sup> ±0,07  |        |                          |                                   |
| Nf   | 0,41 <sup>c</sup> ±0,05  | 0,55 <sup>a</sup> ±0,19  |        |                          |                                   |
| B1   | 0,67 <sup>c</sup> ±0,23  | 0,34 <sup>b</sup> ±0,04  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 0,57 <sup>c</sup> ±0,05  | 0,45 <sup>b</sup> ±0,02  |        |                          |                                   |
| B3   | 1,36 <sup>b</sup> ±0,02  | 0,72 <sup>a</sup> ±0,11  |        |                          |                                   |
| B4   | 2,31 <sup>a</sup> ±0,43  | 0,83 <sup>a</sup> ±0,22  |        |                          |                                   |
| <b>PSI (%)</b>                               |                          |                          |        |                          |                                   |
| C  | 6,79 <sup>a</sup> ±0,05  | 3,85 <sup>a</sup> ±0,04  |        |                          |                                   |
| Nf   | 6,05 <sup>b</sup> ±0,04  | 3,67 <sup>ab</sup> ±0,19 |        |                          |                                   |
| B1   | 5,49 <sup>b</sup> ±0,37  | 3,47 <sup>b</sup> ±0,06  | ***    | ***                      | ***                               |
| B2   | 6,65 <sup>a</sup> ±0,17  | 4,06 <sup>a</sup> ±0,13  |        |                          |                                   |
| B3   | 5,68 <sup>b</sup> ±0,07  | 3,44 <sup>b</sup> ±0,09  |        |                          |                                   |
| B4   | 6,14 <sup>ab</sup> ±1,53 | 3,85 <sup>a</sup> ±0,25  |        |                          |                                   |

Para cada parámetro, distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para p<0,05. Tiempo x tratamiento fertilizante indica interacción estadística (significativa o no) entre estos dos factores (\*\*\*: diferencia significativa)

### 3.2. Producción de frutos

La producción en el cultivo de pimienta se evalúa fundamentalmente en función del peso y del número de frutos por planta. En este caso, el peso medio de los frutos de pimienta varió de los 216 a los 266 g, dependiendo del tipo de tratamiento aplicado al cultivo (tabla 4). A excepción de las parcelas control (C), siempre se alcanzaron pesos medios dentro del rango óptimo descrito para la variedad ensayada (220-250 g). Tanto la fertilización mineral como la orgánica, incrementaron significativamente la producción en peso de pimienta por planta respecto al control, aproximadamente en un 55 % más en el caso de la dosis más alta de BIOF-1 (B4), y en un 38 % más de producción en peso de pimienta por planta para el tratamiento mineral (Nf) y la dosis más baja de BIOF-1 (B1) (tabla 4). En cuanto al peso total en kg por planta, la mayor cantidad de estiércol de pollo aportada al suelo (tratamiento B4), fue significativamente la más productiva de todos los tratamientos fertilizantes estudiados (tabla 4).

Tabla 4

Valores medios y desviaciones típicas de producción de pimienta en los distintos tratamientos. C: control; Nf: Nitrofoska Stábil (83,3 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (265,9 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (354,5 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (443,2 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>)

| Tratamientos | Peso medio (g fruto <sup>-1</sup> ) | Peso total (kg planta <sup>-1</sup> ) | Número de frutos (Nº planta) |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| C            | 215,7 <sup>d</sup> ±51,95           | 2,59 <sup>c</sup> ±0,22               | 12,00 <sup>b</sup> ±5,73     |
| Nf           | 265,9 <sup>a</sup> ±72,82           | 4,16 <sup>b</sup> ±0,20               | 15,64 <sup>ab</sup> ±2,83    |
| B1           | 262,4 <sup>a</sup> ±67,53           | 4,16 <sup>b</sup> ±0,25               | 15,79 <sup>ab</sup> ±3,73    |
| B2           | 252,6 <sup>a</sup> ±72,78           | 4,20 <sup>b</sup> ±0,21               | 16,63 <sup>ab</sup> ±2,93    |
| B3           | 251,3 <sup>a</sup> ±79,50           | 4,29 <sup>b</sup> ±0,40               | 17,00 <sup>ab</sup> ±4,98    |
| B4           | 252,2 <sup>a</sup> ±71,52           | 5,73 <sup>a</sup> ±0,24               | 18,71 <sup>a</sup> ±3,38     |

Para cada parámetro, distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

Por otra parte, atendiendo al número de frutos por planta, el tratamiento con la dosis más alta de abono orgánico (B4, 531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), produjo un número de frutos superior en un 56 % al alcanzado en las parcelas control (C), aunque estadísticamente no hubo diferencias con el resto de los tratamientos fertilizantes.

### 3.3. Producción comercial

En la tabla 5 se muestran los valores medios del diámetro y longitud del fruto, según tratamientos.

Tabla 5

Valores medios y desviaciones típicas del tamaño del fruto de pimiento en los distintos tratamientos. C: control; Nf: Nitrofoska Stábil (83,3 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (265,9 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (354,5 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (443,2 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>)

| Tratamientos | Diámetro fruto (mm fruto <sup>-1</sup> ) | Longitud fruto (cm fruto <sup>-1</sup> ) |
|--------------|--|--|
| C            | 82,2 <sup>a</sup> ±13,1                  | 12,62 <sup>a</sup> ±1,27                 |
| Nf           | 89,3 <sup>a</sup> ±12,1                  | 12,42 <sup>a</sup> ±1,75                 |
| B1           | 87,5 <sup>a</sup> ±12,8                  | 12,42 <sup>a</sup> ±1,40                 |
| B2           | 87,1 <sup>a</sup> ±10,8                  | 12,82 <sup>a</sup> ±1,52                 |
| B3           | 87,0 <sup>a</sup> ±14,0                  | 12,33 <sup>a</sup> ±1,73                 |
| B4           | 87,7 <sup>a</sup> ±11,7                  | 12,31 <sup>a</sup> ±1,58                 |

Para cada parámetro, distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

Se aprecia que tanto en el diámetro de la sección transversal del fruto, como en la longitud, no se produjeron diferencias significativas entre los tratamientos ensayados (tabla 5). Aún así, el ancho del fruto siempre fue mayor en las plantas que recibieron algún tipo de abonado, con respecto al tratamiento control (tabla 5) y siempre se pudieron clasificar dentro de la categoría comercial de “tamaño grande” (70-90 mm) (tabla 6).

Tabla 6  
Clasificación comercial del fruto de pimiento atendiendo al diámetro de su sección transversal (Reglamento C.E. N°1455, 1999)

| Categoría       | Diámetro en mm |
|-----------------|----------------|
| GG (Muy grande) | > 90           |
| G (Grande)      | 90 á 70        |
| M (Mediana)     | 80 á 60        |
| P (Pequeña)     | 60 á 40        |

### 3.4. Calidad del fruto

En la tabla 7 se presenta el contenido en proteína, vitamina C y elementos minerales en peso fresco de los pimientos cosechados según tratamiento, así como la composición media de pimiento rojo tipo Lamuyo en invernadero muestreado en explotaciones pertenecientes a cinco cooperativas de Almería (Guil-Guerrero y Martínez-Guirado, 2006).

Tabla 7

Valores medios y desviaciones típicas del valor nutritivo del fruto de pimiento según tratamientos, expresado en mg por 100 g de materia seca. C: control; Nf: Nitrofoska Stábil (83,3 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>); B1: BIOF-1 (265,9 g m<sup>-2</sup> ~ 60 kg N ha<sup>-1</sup>), B2: BIOF-1 (354,5 g m<sup>-2</sup> ~ 80 kg N ha<sup>-1</sup>), B3: BIOF-1 (443,2 g m<sup>-2</sup> ~ 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y B4: BIOF-1 (531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>)

|                            | Proteína                                | Vitamina C           | P                  | K                      | Ca                 | Mg                 | Na                   | Cu                      | Fe                     | Zn                      |
|----------------------------|---|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|                            | (mg 100 g <sup>-1</sup> de peso fresco) |                      |                    |                        |                    |                    |                      |                         |                        |                         |
| C                          | 777 <sup>b</sup> ±121                   | 142 <sup>a</sup> ±10 | 49 <sup>d</sup> ±4 | 310 <sup>a</sup> ±27   | 11 <sup>a</sup> ±3 | 12 <sup>a</sup> ±2 | 57 <sup>a</sup> ±15  | 0,15 <sup>a</sup> ±0,01 | 0,94 <sup>a</sup> ±0,2 | 0,14 <sup>b</sup> ±0,02 |
| Nf                         | 875 <sup>ab</sup> ±103                  | 135 <sup>a</sup> ±10 | 56 <sup>d</sup> ±3 | 304 <sup>ab</sup> ±23  | 13 <sup>a</sup> ±2 | 11 <sup>a</sup> ±1 | 42 <sup>ab</sup> ±10 | 0,12 <sup>a</sup> ±0,03 | 0,65 <sup>b</sup> ±0,1 | 0,05 <sup>c</sup> ±0,05 |
| B1                         | 814 <sup>ab</sup> ±54                   | 138 <sup>a</sup> ±7  | 65 <sup>c</sup> ±5 | 290 <sup>b</sup> ±21   | 11 <sup>a</sup> ±3 | 11 <sup>a</sup> ±1 | 43 <sup>ab</sup> ±9  | 0,06 <sup>b</sup> ±0,01 | 0,62 <sup>b</sup> ±0,2 | 0,15 <sup>b</sup> ±0,03 |
| B2                         | 922 <sup>a</sup> ±93                    | 145 <sup>a</sup> ±6  | 75 <sup>b</sup> ±8 | 272 <sup>bcd</sup> ±46 | 8 <sup>b</sup> ±2  | 12 <sup>a</sup> ±1 | 34 <sup>ab</sup> ±9  | 0,16 <sup>a</sup> ±0,03 | 0,60 <sup>b</sup> ±0,2 | 0,17 <sup>b</sup> ±0,01 |
| B3                         | 887 <sup>ab</sup> ±60                   | 139 <sup>a</sup> ±10 | 80 <sup>b</sup> ±6 | 245 <sup>d</sup> ±20   | 8 <sup>b</sup> ±2  | 12 <sup>a</sup> ±2 | 42 <sup>ab</sup> ±8  | 0,16 <sup>a</sup> ±0,02 | 0,61 <sup>b</sup> ±0,1 | 0,23 <sup>a</sup> ±0,04 |
| B4                         | 910 <sup>ab</sup> ±60                   | 150 <sup>a</sup> ±7  | 94 <sup>a</sup> ±4 | 260 <sup>cd</sup> ±27  | 7 <sup>b</sup> ±2  | 13 <sup>a</sup> ±1 | 28 <sup>b</sup> ±7   | 0,17 <sup>a</sup> ±0,02 | 0,54 <sup>c</sup> ±0,1 | 0,24 <sup>a</sup> ±0,03 |
| Guil-Guerrero et al., 2006 | 810±2                                   | 293±12               | 35±4               | 200±12                 | 13±2               | 14±1               | 53±3                 | 0,72±0,08               | 0,41±0,2               | 0,77±0,06               |

Para cada parámetro, distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para  $p < 0,05$ .

En este ensayo los niveles de proteína fueron superiores a los descritos en Almería para el mismo tipo de pimiento y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Para todos los tratamientos, la concentración de vitamina C varió entre 135 y 150 mg 100 g<sup>-1</sup> de materia fresca. No hubo diferencias debidas a la fertilización, mineral u orgánica, en el contenido de esta vitamina. Los valores fueron similares a los comunicados por otros autores (Vanderslice et al., 1990; Belitz y Grosch, 2000), aunque inferiores a los encontrados por Guil-Guerrero y Martínez-Guirado, (2006) en Almería. En cuanto a los elementos minerales en fruto, el K fue el elemento principal en su composición, como ocurre normalmente en los cultivos hortícolas (Belitz y Grosch, 2000). El nivel de este elemento fue superior al encontrado en el mismo tipo de pimiento en Almería y fueron las parcelas control y las que recibieron abonado mineral las que presentaron frutos con mayor concentración.

También los niveles de P fueron más altos en los frutos cosechados en este ensayo y al contrario de lo que ocurrió con el K, las concentraciones más altas se encontraron en las parcelas fertilizadas con BIOF-1, incrementándose linealmente con la dosis aplicada y en relación con la concentración en suelo.

En todos los pimientos recogidos, fertilizados o no, los contenidos en magnesio fueron muy parecidos, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos. También resultaron similares a los resultados hallados por Guil-Guerrero y Martínez-Guirado (2006). El calcio fue un elemento con mayor presencia en los pimientos que no fueron fertilizados y en aquellos en los que se usó el fertilizante mineral (Nf). Las dosis B2, B3 y B4 propiciaron menores contenidos de Ca en fruto.

En lo que se refiere a micronutrientes, destacó el menor contenido de Fe en las parcelas fertilizadas de forma mineral u orgánica, frente al control y el mayor contenido de Zn en las parcelas abonadas con las dosis B3 y B4 de BIOF-1.

## 4. Discusión

### 4.1. *Modificaciones producidas en suelo*

Son muchos los estudios que indican que la aplicación de estiércol de pollo mejora la calidad del suelo en comparación con la fertilización mineral. Esto se explica porque el estiércol proporciona una fuente adicional de materia orgánica, lo que influye en la capacidad del suelo para almacenar y liberar nutrientes para el crecimiento de los cultivos durante su descomposición y mineralización, mejorando también sus propiedades físicas y biológicas (Lal, 2002; Edmeades, 2003; Adeli et al., 2007; Matos-Moreira et al., 2011). Otros autores sin embargo, encuentran que aplicaciones continuadas de estiércol de pollo pueden dar lugar a desequilibrios nutritivos en el suelo (Sharpley et al., 1997), exceso de fósforo (Reddy et al., 2009) o incremento de sales (Alabadan et al., 2009).

La mayor parte de los trabajos publicados a este respecto se refieren a cultivos extensivos como maíz, algodón o pratenses, todos ellos realizados al aire libre, existiendo escasas referencias de suelos cultivados en invernadero. Los suelos de invernadero son suelos altamente modificados y en ellos se observan simultáneamente efectos positivos y negativos por la acción del manejo intensivo, lo cual los diferencia claramente de los mismos suelos cultivados en el exterior (Blanc, 1984; López-Mosquera y Macías, 1993a). Distintos autores han puesto de manifiesto las principales modificaciones producidas en este tipo de suelos, como son el enriquecimiento considerable de nutrientes, modificaciones en la reacción del suelo y aumento considerable de la salinidad (Blanc, 1967; Morisot, 1972; Mardon, 1972; Moulinier, 1975; López-Mosquera y Macías, 1993a; Huang Yi et al., 2004). Las elevadas cantidades de enmiendas y abonos realizados, la ausencia de lavado natural por el agua de lluvia y el empleo de fitosanitarios en exceso, suelen ser los factores que más influyen y originan procesos degradativos. Una alternativa al manejo convencional indicada para evitar los aspectos negativos y que además puede ser utilizada en sistemas de cultivo integrado y ecológico en invernadero, podría ser sustituir la fertirrigación por un único abonado de fondo, empleando abonos que liberen gradualmente los nutrientes de acuerdo con el ritmo de extracción del cultivo, bien sean de origen mineral u orgánico.

Los resultados de este ensayo mostraron que al final del cultivo se produjeron modificaciones con respecto al estado inicial del suelo en la mayor parte de los parámetros analizados, a excepción del pH y del contenido en materia orgánica,

como se describió en el apartado de resultados. También se observaron diferencias entre tratamientos al final del cultivo.

#### pH, Al y Ca de cambio

En suelos ácidos cultivados al aire libre, diversos estudios muestran que tras el abonado con estiércol de pollo, el nivel de pH aumenta, disminuye el porcentaje de saturación en Al y se incrementa el nivel de Ca de cambio. Es decir, el estiércol de pollo actúa como un material encalante debido al contenido en Ca que posee y que proviene de la dieta de los animales (Hue y Licudine, 1999; Materechera et al., 2002; Matos-Moreira et al., 2011). En este estudio, no se detectó presencia de Al de cambio en ninguna de las subparcelas, ni modificaciones significativas en el pH y en el Ca de cambio con respecto a las condiciones iniciales del suelo y entre tratamientos al final del cultivo. En un estudio realizado en 24 explotaciones de flor cortada en invernadero en Galicia, se encontró que el 85 % de las muestras presentaban niveles de Al inferiores a  $0,25 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ . El fuerte abonado y la ausencia de lavado de los otros cationes de cambio, hace que el Al sea desplazado del complejo de cambio, hasta casi desaparecer (López-Mosquera y Macías, 1993a).

#### Materia orgánica

En suelos de invernadero el nivel de materia orgánica aumenta si se aplican enmiendas orgánicas de manera habitual (Blanc, 1984), pero si el cultivo se maneja exclusivamente con abonos minerales, lo normal es que disminuya ya que las condiciones de mineralización se ven favorecidas gracias a las altas temperaturas, al riego, y a la presencia de cantidades importantes de nitratos y de Ca, dando lugar a tasas de mineralización superiores al 4 % en zonas mediterráneas (Mardon, 1972) y del 2 al 3 % en zonas templadas (López-Mosquera y Macías, 1993b). En el caso de estudio, el aporte de estiércol de pollo no produjo variaciones estadísticamente significativas entre tratamientos, ni tras nueve meses de cultivo, aunque si se observó un incremento con respecto a la situación inicial y respecto a las parcelas control con la dosis más alta de BIOF-1 ( $531,8 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). En cultivos de maíz y algodón distintos autores comprobaron que, tras haber aplicado diferentes dosis de estiércol de pollo en comparación con parcelas donde sólo se usó fertilización mineral, el tratamiento con estiércol de pollo aumentaba el contenido de C en el suelo, y que dicho incremento era mayor con la dosis aplicada (Mitchell y Tu, 2006; Adeli et al., 2009, 2011).

#### Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La saturación en bases de los suelos de ensayo fue del 100 %, tanto al inicio como al final del cultivo. Después del cultivo de pimiento la secuencia de cationes se incrementó en el siguiente orden  $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ , coincidiendo con lo encontrado habitualmente en suelos de invernadero gallegos (Martínez Cortizas y Moares Domínguez, 1995). Las dosis B3 ( $443,2 \text{ g m}^{-2} \sim 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4 ( $531,8 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) supusieron un incremento de la CIC del suelo frente a las

parcelas control (C), aunque no fueron estadísticamente diferentes al tratamiento que recibió el abono mineral de liberación lenta (Nf). Dikinya y Mufwanzala (2010) también observaron incrementos de las bases de cambio en distintos tipos de suelos cultivados con espinaca bajo invernadero, a los que les habían adicionado estiércol de pollo. En cultivo de algodón, Adeli et al., (2010) también describen incrementos lineales en los cationes de cambio de un suelo abonado con dosis crecientes de estiércol de pollo, frente a un fertilizante comercial en un estudio de tres años de duración.

Los cationes de cambio que presentaron diferencias significativas entre tratamientos al final del cultivo, fueron el  $Mg^{+2}$ , cuyo mayor contenido se encontró en las parcelas B4, siendo diferente estadísticamente a las parcelas control (C) y el  $K^+$ , siempre superior en las parcelas B4 frente a los otros tratamientos (Tabla 2).

N total, P disponible y K cambiante

El N total se incrementó con respecto al control y a los otros tratamientos fertilizantes en los tratamientos B3 ( $443,2 \text{ g m}^{-2} \sim 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y B4 ( $531,8 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). En rotaciones maíz-algodón, Adeli et al., (2009) encontraron incrementos significativos de N total en suelo aplicando dosis de  $13,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de estiércol de pollo, en comparación con un fertilizante nitrogenado inorgánico. Del mismo modo, Adeli et al., (2011) evaluaron durante 6 años el efecto residual de la aplicación de estiércol de pollo en un cultivo de algodón, encontrando incrementos significativos del N total del suelo.

En cuanto al fósforo, las cantidades de este elemento en suelo aumentaron con respecto a la situación inicial del cultivo de pimiento, y se aprecia que a mayor dosis de BIOF-1 (B1, B2, B3 y B4), mayor presencia de este nutriente, siendo con la dosis más alta donde la acumulación de P fue significativamente mayor. Se sabe, que en estudios donde se usó de forma prolongada estiércol de pollo (de dos a diez años), para fertilizar diferentes cultivos (algodón, maíz, praderas), se produjo con el tiempo, una presencia mayor de fósforo en el suelo (Ravikumar y Krishnamoorthy, 1983; More y Ghonsikar, 1988; Sharma y Saxena, 1990; Mitchell y Tu, 2006; Adeli et al., 2009; Amanullah et al., 2010; Adeli et al., en 2011). Incluso el uso de dosis crecientes de estiércol de pollo como fertilizante en pastos de *Cynodon dactylon* L. durante tres años consecutivos, dio lugar a una acumulación de P en suelo que podría alcanzar niveles excesivos (Brink et al., 2008). El uso de dosis crecientes de estiércol de pollo en el cultivo de pimiento produjo un efecto acumulativo del fósforo en suelo debido a la riqueza en fósforo del BIOF-1 (2,8 %), y que este elemento tiene escasa movilidad en el suelo (Mitchell y Tu, 2006; Adeli et al., 2009; Adeli et al., en 2011).

La aplicación de la dosis más elevada de BIOF-1 (B4:  $531,8 \text{ g m}^{-2} \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) originó incrementos significativos de K de cambio en relación al resto de los tratamientos, suponiendo incrementos de más del 50 % con respecto a las parcelas control (C) y las fertilizadas con abono mineral (Nf). Del mismo modo, Adeli et al.,

(2009, 2010) encontraron este mismo efecto en suelos cultivados con maíz-algodón y con algodón después de la adición de estiércol de pollo.

### Salinidad y elementos solubles

El cultivo de pimiento presenta una tolerancia moderada a la salinidad, debido a su capacidad de absorber determinados elementos (Na, Cl, Ca, Mg y K), en proporción mucho menor a la que le correspondería a su concentración en la disolución del suelo (Fernandez et al., 1981); la tolerancia depende de la variedad usada, siendo los pimientos tipo "Lamuyo", los que mejor soportan altas concentraciones salinas (Garrido, et al., 2001).

Los valores de conductividad eléctrica encontrados al final del cultivo de pimiento, se situaron siempre por debajo del límite de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (Allison y Richards, 1973), por lo que, ningún tratamiento fertilizante motivó la salinización del suelo hasta niveles a partir de los cuales se pueda considerar que el suelo sea salino. Incluso, estuvieron muy lejos de los  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  (valor límite que repercute en la producción del pimiento (Fernandez et al., 1981), aún con dosis superiores a los  $532 \text{ g por m}^2$  de BIOF-1 (B4,  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Numerosos estudios hechos con gallinaza, han mostrado un aumento de la conductividad eléctrica en el suelo tras su uso en diferentes cultivos (Kingery et al., 1994; Han et al., 2000; Davis et al., 2007; Yao Li-Xian et al., 2007; Alabadian et al., 2009; Azeez y Van Averbek, 2012). Dikinya y Mufwanzala, (2010), en un ensayo con espinaca en invernadero, llegaron a la conclusión de que al aumentar la dosis de estiércol de pollo, los suelos se fueron salinizando, e incluso, llegó a afectar a la producción final del cultivo. En el caso que nos ocupa, la larga duración del cultivo (9 meses), continuamente mantenido a capacidad de campo a través del riego, junto con las extracciones del pimiento, sin ningún otro aporte que el abonado de fondo, permitieron aprovechar de forma óptima los nutrientes y que no se acumulasen de forma excedentaria elementos solubles en el suelo.

Como cabría esperar, todas las parcelas que recibieron fertilización presentaron soluciones de suelo más concentradas que las correspondientes a las parcelas control (C). De todas ellas, destacan las que recibieron la dosis más alta de estiércol de pollo (B4,  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), que fueron las que presentaron la solución más concentrada (en el extracto de saturación) en todos los iones cuantificados ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ ) sin embargo, no se llegaron a originar problemas de exceso de sales para el cultivo o niveles de PSI limitantes para el suelo.

Después de nueve meses de cultivo de pimiento en los bancales del invernadero, la importancia de los iones en la solución del suelo fue para cada tratamiento como sigue:

Bancales control (C):  $\text{Cl}^- > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$

Bancales fertilizados con Nitrofoska Stábil (Nf):  $\text{Ca}^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$

Bancales fertilizados con BIOF-1, dosis B1:  $\text{Ca}^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$

Bancales fertilizados con BIOF-1, dosis B2:  $\text{Ca}^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$

Bancales fertilizados con BIOF-1, dosis B3:  $\text{Ca}^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^-$

Bancales fertilizados con BIOF-1, dosis B4:  $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{NO}_3^-$

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) siempre fue inferior al 15 % en todos los tratamientos, tanto al comienzo como al final del cultivo de pimiento (tabla 3), valor a partir del cual un suelo sufre problemas de sodificación y dispersión de las arcillas (Richards et al., 1954). En todos los tratamientos estudiados los suelos pueden ser considerados normales, pues la conductividad eléctrica y el PSI están por debajo de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y 15 % respectivamente (USSLS, 1954).

#### 4.2. Producción de frutos

La influencia de la fertilización en la producción de pimiento es dispar según distintos estudios. Muchos autores encuentran respuestas favorables a la fertilización mineral tanto nitrogenada como potásica de este cultivo (Locascio et al., 1985; Locascio y Alligood, 1992; Hartz et al., 1993; Gaskell, 1999; Rubio et al., 2010; Abu-Zahra, 2011). Por el contrario, otros autores no encuentran respuesta a la fertilización mineral nitrogenada (Hochmuth et al., 1987, Hochmuth et al., 1996; Estrada et al., 2000; Cánovas et al., 2002). Esto puede ser debido a las diferentes condiciones de fertilidad de los suelos de partida y a la diversidad de condiciones edafoclimáticas en las que las distintas experiencias fueron desarrolladas.

Investigadores como Rincón et al., (1995), Viñals et al., (1996) y Cánovas et al., (2002), trabajando con pimiento tipo "Lamuyo", obtuvieron producciones finales de 3-4,5 kg de peso de pimiento por planta, que se asemejan a los resultados encontrados en este estudio, siendo el tratamiento que recibió la dosis más alta de abono orgánico (B4, 532 g por  $\text{m}^2 \sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), la que alcanzó una producción más elevada ( $5,73 \text{ kg planta}^{-1}$ ).

Schon et al., (1994) y Johnson y Decoteau, (1996), afirmaron que las producciones más altas se obtienen cuando la concentración de nitrógeno en el medio radicular se ve incrementada, hasta un nivel en el cual la producción por planta tiene una alta correlación con la concentración de nitrógeno en el suelo. En nuestro caso, aumentando la dosis de abonado orgánico hasta los  $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (tratamiento B4, 532 g por  $\text{m}^2$ ), se produjo una producción significativamente mayor de peso de pimiento por planta con respecto a la dosis más baja de BIOF-1 (B1, 265,9 g por  $\text{m}^2 \sim 60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) y al tratamiento mineral (Nf, 83,3 g por  $\text{m}^2 \sim 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Los valores obtenidos de peso medio de pimiento (g fruto<sup>-1</sup>) en el ensayo fueron muy parecidos a los esperados para la variedad utilizada (220-250 g de peso medio del fruto variedad "Vidi"), (Vilmorin, 2013). Además, estos datos concuerdan con otros trabajos de investigación, donde el fruto del pimiento tipo "Lamuyo" tuvo un peso medio que osciló entre los 135-188 g (Marín et al., 2004; Abu-Zahra et al., 2011) y los 289-327 g (Alabi et al., 2006).

Según Cánovas et al. (2002), la media de frutos producidos por planta en un cultivo de pimiento tipo Lamuyo en invernadero, fue de 14,8 a 15,3, al igual que sucedió con el Nf y las dosis más bajas de estiércol de pollo en este estudio. El número de frutos obtenidos con la dosis B4 (532 g por m<sup>2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) del fertilizante BIOF-1, fue mayor, pero no estadísticamente significativa con respecto a los restantes tratamientos fertilizantes estudiados. Aún así, esta cantidad de 18,7 frutos por planta de pimiento con la dosis B4 (532 g por m<sup>2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>), fue inferior a las conseguidas por Alabi et al., en 2006 fertilizando un cultivo de pimiento con gallinaza en invernadero, o por Rincón et al., en 1995, con fertilización mineral en un cultivo de pimiento en invernadero, donde cada planta de pimiento produjo 19 y 21 frutos de media, respectivamente.

Existen estudios que demuestran un efecto favorable, sobre las características de los frutos del pimiento, principalmente sobre la forma de los frutos, y en concreto sobre su diámetro (Singh et al., 1988; Subhani et al., 1990; Vanangamudi et al., 1990). En este caso no se produjeron diferencias significativas entre tratamientos. Es más, con el tratamiento de 120 kg de N por ha (B4, 532 g por m<sup>2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>) se recogieron frutos de 87,7 mm de diámetro de media, medida inferior a la obtenida por Singh et al. (1988), que obtuvieron frutos con un diámetro de 94 mm, cuando al suelo se le aportaron 150 kg de N por hectárea.

Por otra parte, la temperatura es un factor determinante en la producción del cultivo de pimiento, ya que es un cultivo que requiere de un rango de temperaturas (15-35 °C) para llegar a dar un buen fruto, sobre todo, durante el periodo de formación del botón floral y hasta la obtención del fruto maduro. Temperaturas por debajo de los 10-15 °C o superiores a los 35 °C producen anomalías en la formación de las flores, así como la malformación de frutos, reduciéndose su tamaño e incluso llegando a caerse frutos y flores de la planta (Estrada et al., 2000; Marín et al., 2004; Martín, 2008). Además, fuera de este rango de temperaturas, la planta detiene su crecimiento vegetativo (Rico, 1983; Marín et al., 2004). El hecho de que las temperaturas máximas y mínimas dentro del invernadero estuviesen por encima y por debajo de 35 y 15 °C, respectivamente, en algunos momentos, probablemente influyó en la obtención final de frutos ya que se produjo la caída de flores y se redujo el tamaño de los mismos.

#### 4.3. Producción comercial

Todos los pimientos rojos recogidos durante el cultivo, independientemente del tratamiento utilizado, se incluyeron dentro de la Categoría I (de buena calidad), según el Reglamento C.E. Nº 1.455 de 1999, que clasifica a los pimientos rojos por su aspecto físico en dos Categorías, la I (de buena calidad) y la II (con características mínimas de calidad).

Además, a la hora de clasificar los pimientos rojos por tamaño (GG, G, M y P), teniendo en cuenta el diámetro de la parte superior más ancha del fruto (Urrestarazu, et al., 2002), todos ellos se clasificaron en la categoría comercial G (tamaño grande), independientemente del tratamiento aplicado.

Si se tiene en cuenta el diámetro medio del fruto de pimiento variedad "Vidi", que suele variar entre los 80-90 mm (Vilmorin, 2013), todos los pimientos, independientemente del tratamiento, llegaron a su potencial para esta variedad.

El fruto del pimiento tipo "Lamuyo" tiene normalmente una longitud que oscila entre los 14 y los 16 cm (Rico, 1983; Kean et al., 2001; Vilmorin, 2013), incluida la variedad "Vidi". En nuestro caso esta longitud media no se alcanzó, quedando por debajo de estos valores. Aunque no repercutió en el peso final del fruto, como ya se explicó con anterioridad, debido probablemente a que los frutos de pimiento tuvieron un mayor número de lóbulos, además de una carne más gruesa, lo que determinó un mayor peso total (Tavares et al., 1999).

#### 4.4. Calidad del fruto

El abonado mineral y los tratamientos con BIOF-1 dieron lugar a concentraciones similares de proteína en fruto y aunque superiores, no fueron significativamente diferentes, al control (C). Los valores fueron similares o superiores a los contenidos descritos por Guil-Guerrero y Martínez-Guirado (2006) en pimientos de este tipo en Almería.

Aliyu et al., en el año 2000 usó gallinaza a diferentes dosis como abono en cultivo de pimiento, concluyendo que los frutos que tenían mayor concentración de N, P y K, eran aquellos cosechados en las parcelas fertilizadas con gallinaza. En este caso, la mayor concentración de K está presente en los pimientos de las parcelas control, y decrece con el fertilizante BIOF-1 (B1, B2, B3 y B4), tal vez debido al efecto dilución, al haber sido mayor el peso del fruto en estos tratamientos. Los contenidos en P en el pimiento, sin embargo, fueron significativamente mayores en las parcelas fertilizadas con BIOF-1, en relación a las parcelas control (C) y a las fertilizadas con abono mineral (Nf). Esto concuerda con los mayores contenidos de P disponible en suelo.

El fruto del pimiento es la segunda hortícola que concentra la mayor cantidad de ácido ascórbico (Lee y Kader, 2000; Belitz y Grosch, 2000), contribuyendo de forma importante a su actividad antioxidante (Byers y Perry, 1992). El valor de esta vitamina varía de los 51 a los 240 mg por cada 100 g de materia fresca en los pimientos rojos,

según constatan diversas investigaciones (Vanderslice et al., 1990; Nisperos-Carriedo et al., 1992; Howard et al., 1994; Osuna-García et al., 1998; Howard et al., 2000; Yahia et al., 2001; Suntornsuk et al., 2002; Marín et al., 2004; Abu-Zahra et al., 2011). Los valores de ácido ascórbico que se obtuvieron en este ensayo oscilaron entre 134,6 y 149,6 mg por cada 100 g de materia fresca, estando dentro del rango de las cifras expuestas anteriormente. En concreto, Abu-Zahra et al., en 2011 hizo un estudio de la vitamina C en pimiento con diferentes abonos orgánicos y mineral, en donde los frutos fertilizados con gallinaza tuvieron una concentración de vitamina C de 157,3 mg por cada 100 g de materia fresca, cercanos a los encontrados en este estudio.

Todos los frutos analizados, independientemente de la dosis utilizada de abono orgánico, dieron lugar a concentraciones parecidas de vitamina C, lo que demuestra que el abonado no afectó a la concentración de ácido ascórbico en el fruto, tal y como también apreciaron Flores et al., 2004; Flores et al., 2009 y Aminifard et al., 2012.

Los estudios que anteceden a esta investigación, han dado resultados dispares en relación a la concentración de vitamina C en el fruto de pimiento. Autores como Augustin, (1975), Freyman et al., (1991), Lisiewska y Kmiecik, (1996) o Worthington, (2001) afirman que el uso de fertilizantes nitrogenados puede producir una disminución del contenido de ácido ascórbico debido a que la planta tiene una amplia disponibilidad de nitrógeno, produciendo más cantidad de proteína y reduciendo su producción de hidratos de carbono, que son los precursores de la vitamina C. A este hecho también puede contribuir el efecto de dilución del ácido ascórbico en fruto debido a un mayor crecimiento de la planta, y por tanto de los tejidos donde se concentra la vitamina C (Mozafar, 1993; Osuna-García et al., 1998; Lee y Kader, 2000; Bourn y Prescott, 2002). Sin embargo, otras investigaciones como la de Burell et al., (1940) y Amanullah et al., (2007), afirman que el uso de mayores dosis de nitrógeno aumentan la cantidad de ácido ascórbico en planta.

Estos resultados tan dispares pueden deberse a la variabilidad de las condiciones experimentales y al hecho de que la respuesta del ácido ascórbico a las dosis crecientes del fertilizante puede llegar a un máximo, a partir del cual, la cantidad de ácido ascórbico en planta decrecerá a medida que se incrementa la dosis fertilizante (Pfaff y Pfützer, 1937; Sengewald, 1959; Addae-Kagya y Norman, 1977; Takebe y Yoneyama, 1992). También pueden influir de forma decisiva en estos resultados, la intensidad y la fluctuación de la luz, y las variaciones diurnas de la temperatura durante la realización de los ensayos (Mozafar, 1994; Lee y Kader, 2000), ya que es la causante de aumentar la concentración de vitamina C y glucosa en las plantas (precursora del ácido ascórbico) (Osuna-García et al., 1998).

Además del nitrógeno, nutrientes como el P y el K pueden influir de forma decisiva en la concentración de vitamina C en el fruto. Según algunos autores (Sites 1947; Reitz y Koo, 1960; Nagy, 1980; Gonçalves et al., 1999) el uso de dosis crecientes de potasio en cultivos hortícolas, produce un incremento del contenido de vitamina C en

planta o fruto. Sin embargo, aunque al final del ciclo de cultivo, en el ensayo de estudio la concentración de potasio en suelo fue mayor en aquellos bancales abonados con las dosis más elevadas de fertilizante orgánico (B3, 210,1 mg kg<sup>-1</sup> de K B4, 354,9 mg kg<sup>-1</sup> de K), el contenido de vitamina C encontrado en los frutos de pimiento de estos bancales no fue diferente del resto de tratamientos, al igual que los resultados obtenidos por Flores et al., en un estudio llevado a cabo en 2004, sobre cultivo de pimiento en invernadero.

## 5. Conclusión

Tras nueve meses de cultivo de pimiento en invernadero, el suelo no vio alterado sus contenidos de M.O., Ca, Al y pH, independientemente del tratamiento aplicado, mientras que el Mg<sup>+2</sup> y el K<sup>+</sup>, como cationes de cambio y el Nt, incrementaron su presencia en las parcelas donde recibieron la mayor dosis de BIOF-1 (B4, 531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>).

Además, el uso de dosis crecientes de estiércol de pollo produjo un efecto acumulativo del fósforo en suelo debido a la riqueza en fósforo del BIOF-1 (2,8 %). Sin embargo, no se registró incremento de sales como lo demuestra el hecho de que los valores de conductividad eléctrica encontrados al final del cultivo de pimiento, estuviesen siempre por debajo del límite de 4 dS m<sup>-1</sup>, incluso con dosis superiores a los 532 g por m<sup>2</sup> de BIOF-1 (B4, 531,8 g m<sup>-2</sup> ~ 120 kg N ha<sup>-1</sup>).

Todas las parcelas que recibieron fertilización presentaron soluciones de suelo más concentradas que las parcelas control, destacando aquellas que recibieron la dosis más alta de estiércol de pollo (B4), que tuvieron la solución más concentrada en todos los iones cuantificados en el extracto de saturación (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y Na<sup>+</sup>). Aún así, en todos los tratamientos estudiados, los suelos pueden ser considerados normales, pues la conductividad eléctrica y el PSI están por debajo de 4 dS m<sup>-1</sup> y 15 % respectivamente.

Con cantidades no superiores a los 265,9 g m<sup>-2</sup> de BIOF-1 (B1, 60 kg N ha<sup>-1</sup>), se obtuvieron producciones de pimiento, de igual calidad (categoría I) y categoría comercial (G = tamaño grande), que los conseguidos con un fertilizante mineral de liberación lenta, como es el Nitrofoska Stábil a una dosis de 83,3 g m<sup>-2</sup>, (100 kg N ha<sup>-1</sup>).

Todos los frutos analizados, independientemente de la dosis utilizada de abono orgánico, tuvieron concentraciones parecidas de vitamina C y de proteína. En cuanto al K, la mayor presencia se detectó en los pimientos de las parcelas control, y decreció con el fertilizante BIOF-1 (B1, B2, B3 y B4). Sin embargo, los contenidos en P fueron significativamente mayores en las parcelas fertilizadas con BIOF-1, en relación a las parcelas control y a las fertilizadas con abono mineral.

## 6. Referencias bibliográficas

- Abu-Zahra, T.R. 2011. Influence of agricultural practices on fruit quality of bell pepper. *Pakist. J. Biol. Sci.* 14(18): 876-881.
- Addae-Kagya, K.A.; Norman, J.C. 1977. The influence of Nitrogen levels on local cultivars of Eggplant (*Solanum integrifolium L.*). *Acta Hort.* 53: 397-401.
- Adeli, A.; Sistani, K. R.; Rowe, D. E.; Tewolde, H. 2007. Effects of broiler litter applied to no-till and tillage cotton on selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 974-983.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Sistani, K.R.; Rowe, D.E. 2009. Broiler Litter Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Properties. *Agron. J.* 101(6): 1304-1310.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Sistani, K; Rowe, D. 2010. Comparison of Broiler Litter and Commercial Fertilizer at Equivalent N Rates on Soil Properties. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 41(20): 2432-2447.
- Adeli, A.; Tewolde, H.; Rowe, D.E.; Sistani, K.R. 2011. Continuous and Residual Effects of Broiler Litter Application to Cotton on Soil Properties. *Soil Sci.* 176(12): 668-675.
- Alabadan, B.A.; Adeoye, P.A.; Folorunso, E.A. 2009. Effect of different poultry wastes on physical, chemical and biological properties of soil. *Caspian J. Env. Sci.* 7(1): 31-35.
- Alabi, D .A. 2006. Effects of fertilizer phosphorus and poultry droppings treatments on growth and nutrient components of pepper (*Capsicum annuum L.*). *Afr. J. Biotechnol.* 5(8): 671-677.
- Aliyu, L. 2000. Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum L.*) *Biol. Agric. Hortic.* 18(1): 29-36.
- Allison, L.E.; Richards, L.A. 1973. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Regional Salinity Laboratory (US). Ed. Limusa, México. Monografía. pp: 172.
- Amanullah, M.M.; Somasundaram, E.; Vaiyapuri, K.; Sathyamoorthi, K. 2007. Poultry manure to crops-a review. *Agric. Rev.* 28(3): 216-222.
- Amanullah, M.M.S.; Sekar, S.; Muthukrishnan, P. 2010. Prospects and potential of poultry manure. *Asian J. Plant Sci.* 9: 172-182.
- Aminifard, M.H.; Aroiee, H.; Nemati, H.; Azizi, M.; Khayyat, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizer on vegetation and reproductive growth of pepper plants under field conditions. *J. Plant Nutr.* 35(2): 235-242.
- Augustin, J. 1975. Variations in the nutritional composition of fresh potatoes. *J. Food Sci.* 40: 1295-1299.

- Azeez, J.O.; Van Averbek, W. 2012. Dynamics of soil pH and electrical conductivity with the application of three animal manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43(6): 865-874.
- Bafeel, S.O.; Ibrahim, M.M. 2008. Antioxidants and accumulation of  $\alpha$ -tocopherol induce chilling tolerance in *Medicago sativa*. *Int. J. Agric. Biol.* 10: 593-598.
- Basurto, 2005. Texto divulgativo sobre el cultivo del Pimiento (*Capsicum annuum* L). Obtención Alnicolsa. Disponible en: <http://www.geocities.com/lebr7/paprikacastellano.htm>. Último acceso: 27/03/2013.
- Belitz, H.D.; Grosch, W. 2011. Química de los alimentos. 3ª Ed. Acribia, D.L. Zaragoza. pp: 1087.
- Blanc, D. 1967. La production de l'oeillet américain. *Bull. Tech. Inf.* 217.
- Blanc, D. 1984. Evaluation des caractéristiques chimiques des sols en culture protégées. Leur fertilization en fonction des disponibilités en eau. *Agricola Vergel.* 25: 55-58.
- Bourn, D.; Prescott, J. 2002. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Crit. Rev. Food Sci.* 42(1): 1-34.
- Brink, G.E.; Sistani, K.R.; Oldham, J.L.; Kingery, W.E.; Johnson, B. 2008. Broiler litter application rate effects on bermudagrass nutrient uptake and phosphorus level of soils differing in application history. *J. Sustain. Agric.* 31(4): 79-94.
- Burrell, R.C.; Brown, H.D.; Ebright, V.R. 1940. Ascorbic acid content of cabbage as influenced by variety, season, and soil fertility. *Food Res.* 5: 247-252.
- Byers, T; Perry, G. 1992. Dietary carotenes, vitamin C and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Ann. Rev. Nutr.* 12: 139-159.
- Cánovas, J.C.; Molina, E.N.; Vicente, F.E.C.; Gómez, M.C.H.; Alcaraz, N.A.; Navarro, J.S. 2002. Fertilización nitrogenada en pimiento bajo invernadero. *Revista Agropecuaria.* 843: 596-601.
- Chapman, H.D.; Pratt, P.F., Eds. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences Bulletin. 4034.
- Chapman, H.D.; Pratt, P.F. 1984. Métodos de análisis para suelos, planta y aguas. Trillas. México.
- Cordeiro, X.B.; Davila, M.C.V.; Núñez, A.R. 1998. A nosa horta. Guía para a ordenación dos cultivos da horta familiar. Xerais, Vigo. pp: 248.

- Davis, A.S.; Jacobs, D.F.; Wightman, K.E. 2007. Organic matter amendment of fallow forest tree seedling nursery soils influences soil properties and biomass of sorghum cover crop. Purdue University, West Lafayette, IN. Tree Planters' Notes. 52(1): 4-8.
- Dikinya, O.; Mufwanzala, N. 2010. Chiken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates. J. Soil Sci. Environ. Manag. 1(3): 46-54.
- Edmeades, D. C. 2003. Long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: A review. Nutr. Cycl. Agroecosys. 66: 165-180.
- Estrada, A.B.; Merino, C.F.; Da Veiga, B.P.; De los Ángeles, M. 2000. O pemento de Padrón: transformacións bioquímicas na maduración. Ed. Xunta de Galicia. Monografía. pp: 115.
- Evers, G.W. 1999. Comparison of broiler poultry litter and commercial fertilizer for coastal bermudagrass production in the southeastern U.S. J. Sustain. Agric. 12: 55-57.
- FAOSTAT. 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Último acceso: 28/03/2013.
- Fernandez, F.G.; Caro, M.; Cerda, A. 1981. Influencia of NaCl in the irrigation water on yield and quality of. sweet pepper (*Capsicum annuum*). Plant Soil. 46: 405-411.
- Flores, P.; Navarro, J.M.; Garrido, C.; Rubio, J.S.; Martínez, V. 2004. Influence of Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and NO<sup>3-</sup> fertilisation on nutritional quality of pepper. J. Sci. Food Agric. 84: 569-574.
- Flores, P.; Hellin, P; Lacasa, A.; Lopez, A.; Fenoll, J. 2009. Pepper antioxidant composition as affected by organic, low-input and soilless cultivation. J. Sci. Food Agric. 89: 2267-2274.
- Freyman, S.; Toivonen, P.M.; Lin, W.C.; Perrin, P.W.; Hall, J.W. 1991. Effect of nitrogen fertilization on yield, storage losses and chemical composition of winter cabbage. Can. J. Plant Sci. 71(3): 943-946.
- García, M.E.M.; Fernández, S.I. 2012. Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. pp: 6. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas.pdf?sequence=1>. Último acceso: 28/03/2013.
- Garrido, C.; Navarro, J.M.; Carvajal, M.; Martínez, V. 2001. Efecto de la salinidad en el rendimiento y calidad de fruto del pimiento California. Agrícola Vergel. 238: 533-539.

- Gaskell, Ph.D.M. 1999. Efficient use of organic nitrogen fertilizer sources; presented to Organic Farming Research Foundation. Farm Advisor. University of California Cooperative Extension in Santa Marina. pp: 17. Obtención: Pacific Calcium Inc. Disponible en: <http://www.docstoc.com/docs/33399197/Efficient-use-of-organic-nitrogen-fertilizer-sources-in-Organic>. Último acceso: 28/03/2013.
- Gonçalves da Silva, M.A.; Boaretto, A. E.; Tavares de Melo, A.M.; Gimenes, H.M.F.; Bueno Scivittaro, W. 1999. Rendimento e qualidade de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido em função do nitrógeno e potasio aplicados em cobertura. *Sci. Agr.* 56(4): 1199-1207.
- González, M.; Centurion, A.; Sauri, E. 2005. Influence of refrigerated satorage on the quality and shelf life of "Habanero" chili peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Acta Hort.* 682: 1297-1302.
- Guil-Guerrero, J.L.; Martínez-Guirado, C.; Reboloso-Fuentes, M.M.; Carrique-Pérez, A. 2006. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. *Eur. Food Res. Technol.* 224: 1-9.
- Gutián Ojea, F.; Carballás Fernández, T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela. pp: 228.
- Han, F.X.; Kingery, W.L.; Selim, H.M.; Gerard, P.D. 2000. Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. *Soil Sci.* 165: 260-268.
- Hanlon, E.A.; Hochmuth, G.J. 2000. Reference sufficiency ranges vegetable crops, bell pepper. Communication Specialist Agronomic Division of the N.C. Department of Agriculture and Consumer Services. Disponible en: <http://www.ncagr.com/agronomi/saaesd/pepper.htm>. Último acceso: 28/03/2013.
- Hartz, T.K.; Lestrangle, M.; May, D.M. 1993. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. *Hortscience.* 28(11): 1097-1099.
- Hochmuth, G.J.; Shuler, K.D.; Mitchell, R.L.; Gilreath, P.R. 1987. Nitrogen crop nutrient requirement demonstrations for mulched pepper in Florida. *Proceedings Florida State of Horticultural Society.* 100: 205-209.
- Hochmuth, G. 1996. Fertilization of pepper in florida. *Fla. Coop. Ext. Serv. Cir.* 1.168. Obtención University of Florida IFAS Extension. Disponible en: <http://ucanr.org/sites/nm/files/76616.pdf>. Último acceso: 28/03/2013.
- Howard, L.R.; Smith, R.T.; Wagner, A.B.; Villalon, B.; Burns, E.E. 1994. Provitmain A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annum*) and processed jalapenos. *J. Food Sci.* 59: 362-365.
- Howard, L.R.; Talcott, S.T.; Brenes, C.H.; Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum Species*) as influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1713-1720.

- Huang, Yi; Zhang, Yu-long. 2004. The soil degradation problem in greenhouse and control countermeasures. *Chinese J. Soil Sci.* 35(2): 212-216.
- Hue, N.V.; Licudine, D. L. 1999. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. *J. Environ. Qual.* 28: 357-512.
- Jadczak, D.; Grzeszczuk, M.; Kosecka, D. 2011. Quality characteristics and content of mineral compounds in fruit of some cultivars of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Elem.* 15: 509-515.
- Johnson, C.D.; Decoteau, D.R. 1996. Nitrogen and potassium fertility affects Jalapeno pepper plant growth, pod yield, and pungency. *HortScience.* 31: 1119-1123.
- Kaur, C.; Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables. The millenniums health. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 703-725.
- Kean, D.; Myers, J.; Stone, A.; Stang, J.; McGrath, D. 2001. Vegetable variety trials 2000. Ed. Oregon State University. State Oregon. pp: 44.
- Kingery, W.L.; Wood, C.W.; Delaney, D.P.; Williams, J.C.; Mullins, G.L. 1994. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *J. Environ. Qual.* 23: 139-147.
- Kissel, D.E.; Risse, M.; Sonon, L.; Harris, G. 2008. Calculating the fertilizer value of broiler litter. University of Georgia, Cooperative Extension Circle C933. Disponible en: <http://pubs.caes.uga.edu/caes-pubs/pubs/PDF/C933.pdf>. Último acceso: 28/03/2013.
- Lal, R. 2002. Why carbon sequestration in soils. In *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*, ed. Kimble, R.Lal.J.M.; Follett, R.F. 21-29. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lee, S.K.; Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Post. Biol. Technol.* 20: 207-220.
- Lee, J.J.; Crosby, K.M.; Pike, L.M.; Yoo, K.S.; Leskovar, D.I. 2005. Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum spp.*). *Sci. Hortic.* 106: 341-352.
- Lisiewska, Z.; Kmiecik, W. 1996. Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chem.* 57(2): 267-270.
- Locascio, S.J.; Fiskell, J.G.A.; Graetz, P.A.; Hauck, R.D. 1985. Nitrogen accumulation by pepper as influenced by much and time of fertilizer application. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110: 315-318.

- Locascio, S.J.; Alligood, M.R. 1992. Nitrogen and potassium source and N-rate for drip-irrigated pepper. Proceedings Florida State for Horticultural. Society. 105: 323-325.
- López-Mosquera, M.E.; Macías, F.V. 1993a. Modificaciones en las propiedades físicas de suelos de invernadero en Galicia. Nova Acta Científica Compostelana. 4: 91-99.
- López-Mosquera, M.E.; Macías, F.V. 1993b. Salinización en suelos agrícolas de Galicia. Nova Acta Científica Compostelana. 4: 101-110.
- MAGRAMA, 2010. Anuario de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>. Último acceso: 28/03/2013.
- Mardon, M. 1972. Quelques principes de fertilisation pour cultures sous serres. Eau et fertilisation. 17-29.
- Marín, A.; Ferreres, F.; Tomás-Barberán, F.A.; Cil, M.I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum L.*). J. Agric. Food Chem. 52: 3861-3869.
- Maroto Borrego, J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp: 610.
- Martin, O. 2008. Peppers - From Sweet to Fiery. For the Gardener Series, Center for Agroecology and Sustainable Food Systems, UC Santa Cruz. Disponible en: <http://escholarship.ucop.edu/uc/item/8m63v7c1>. Último acceso: 28/03/2013.
- Martínez Cortizas, A.; López Mosquera, M.E.; García Rodeja, E. 1995. Efectos a corto plazo sobre la fracción coloidal y algunas propiedades de los suelos sobre neises inducidos por el cultivo en invernadero. Nova Acta Científica Compostelana. 5: 197-206.
- Materechera, S.A.M. 2002. The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia meamsii*) plantation. Bioresour. Technol. 85: 9-16.
- Matos-Moreira, M.; López-Mosquera, M.E.; Cunha, M.; Sáinz, M.J.O.; Rodríguez, T.; Carral, V.E. 2011. Effects of Organic Fertilizers on Soil Physicochemistry and on the Yield and Botanical Composition of Forage over 3 Years. J. Air Waste Manage. 61(7): 778-785.
- Menichini, F.; Tundis, R.; Bonesi, M; Loizzo, M.R. Conforti, F; Statti, G; De Cindio, B; Houghton, P.J. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinnense* Jaqc. cv habanero. Food Chem. 114: 553-560.

- Mitchell, C.C.; Tu, S. 2006. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(6): 2146-2153.
- More, S.D.; Ghonsikar, C.P. 1988. Effect of some organic manures on the availability of phosphorus to wheat. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 36: 372-374.
- Morisot, A. 1978. Répartition des éléments fertilisants dans les sols de serres florales du midi de la France (oeillets et rosiers). *Ann. Agron.* 29(2): 177-192.
- Moulinier, H. 1975. La fertilisation des cultures sous serre. *Sci. Sol.* 2: 155-160.
- Mozafar, A. 1993. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review. *J. Plant Nutr.* 16(12): 2479-2506.
- Mozafar, A. 1994. Plant vitamins: agronomic, physiological and nutritional aspects. C.R.C. Press: Boca Raton, F.L. Monografía. pp: 412.
- Nagy, S. 1980. Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *J. Agric. Food Chem.* 28: 8-18.
- Nisperos-Carriedo, M.O.; Buslig, B.S.; Shaw, P.E. 1992. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC. *J. Agric. Food Chem.* 40: 1127-1130.
- Olsen, S.R.; Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Page A. L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron.* 9: 403-430.
- Osuna-García, J.A.; Wall, M.M.; Waddell, C.A. 1998. Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of New Mexican-type Chile (*Capsicum annuum L.*) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 46(12): 5093-5096.
- Peech, M.; Alexander, L.T.; Dean, L.A.; Reed, J.F. 1947. *Methods of soil analysis for soil fertility investigations.* U.S.D.A. Cir. 757. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Pérez-Lopez, A.J.; Lopez-Nicolas, J.M.; Dunez-Delicado, E.; Amor del, F.M.; Carbonell-Barrachina, A.A. 2007. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *J. Agric. Food Chem.* 55: 8158-8164.
- Pfaff, C; Pfützer, G. 1937. Über den einfluss der ernährung auf den carotin -und ascorbinsäuregehalt verschiedener gemüse- und futterpflanzen. *Angewandte Chemie.* 50(9): 179-184.
- Ravikumar, R.V.; Krishnamoorthy, K.K. 1983. In: *Proc. of National Seminar on Utilization of Organic Wastes held at, AC & RI, Madurai.* March 24-25: 147-150.
- Reglamento C.E. Nº 1455, 1999. Comisión europea del 1 de julio de 1.999.

- Reddy, S.S.; Nyakatawa, E.Z.; Reddy, K.C.; Raper, R.L.; Reeves, D.W.; Lemunyon, J.L. 2009. Long-term effects of poultry litter and conservation tillage on crop yields and soil phosphorus in cotton-cotton-corn rotation. *Field crops research* 114: 311-319.
- Reitz, H.J.; Koo, R.C.J. 1960. Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality, and leaf analysis of Valencia orange. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 75: 244-252.
- Richards, L.A. (Ed.) 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Salinity Lab., U.S. Department of Agriculture Handbook 60. California, U.S.A.
- Rico, A.J. 1983. Cultivo de pimiento de carne gruesa en invernadero. Colección Agricultura Práctica. Ed. Publicaciones de extensión agraria. Madrid. pp: 268.
- Riemersma, R.A. 1994. Epidemiology and the role of antioxidants preventing coronary heart disease: a brief overview. *Proc. Nutr. Soc.* 53: 59-65.
- Rincón, L.; Saez, J.; Balsalobre, E.; Pellicer, C. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 10(19): 47-59.
- Rubio, J.S.; Sanchez, F.G.; Flores, P. 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilization with Ca and K. *Spanish J. Agric.* 8: 170-177.
- Sharpley, A.N. 1997. Dispelling common myths about phosphorus in agriculture and the environment. Watershed Science Institute - Technical Paper. USDA. pp: 14.
- Schon, M.K.; Compton, M.P.; Bell, E.; Burns, I. 1994. Nitrogen concentration affects pepper yield and leachate nitrate-nitrogen from rockwool culture. *HortScience.* 29: 1139-1142.
- Sediyama, M.A.N.; Vidigal, S.M.; Santos do, M.R.; Salgado, L.T. 2009. Yield of pepper depending on the organic and mineral fertilization. *Hort. Bras.* 27(3): 294-299.
- Sengewald, E. 1959. Untersuchungen über den einfluss der düngung auf den carotin und vitamin C gehalt von spinat (*Spinacia oleracea L.*) unter berücksichtigung der. *Entwicklung. Nahrung.* 3: 428-452.
- Sharma, J.P.; Saxena, S.N. 1990. Use of crop residues and organic manures for improving phosphorus availability in rhizosphere of maize (*Zea mays L.*). *Indian J. Agric. Res.* 24: 119-122.
- Singh, K.; Srivastava, B.K. 1988. Effect of various levels of nitrogen and phosphorus on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum L.*). *Ind. J. Hort.* 45: 319-324.
- Sites, J.W. 1947. Internal fruit quality as related to production practices. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 60: 55-62.

- Stahelin, H. B.; Gey, F.; Brubacher, G. 1989. Preventive potential of antioxidative vitamins and carotenoids on cancer. In Elevated Dosages of Vitamins. (Walter, P.; Stahelin, H.; Brubacher, G; eds). Hans Huber, Toronto. pp: 232-241.
- Subhani, P.M.; Ravisankar, C.; Narayana, N. 1990. Effect of graded levels and time of application of N and K<sub>2</sub>O on flowering, fruiting and yield of irrigated chilli. Indian Cocoa - Arecanut and Spices J. 14(2): 70-73.
- Suntornsuk, L.; Gritsanapun, W.; Nilkamhank, S.; Paochom, A. 2002. Quantitation of vitamin C content in herbal juice using direct titration. J. Pharm. Biomed. Anal. 28(5): 849-855.
- Takebe, M.; Yoneyama, T. 1992. Plant growth and ascorbic acid. 1. Changes of ascorbic acid concentrations in the leaves and tubers of sweet potato (*Ipomea batatas* Lam.) and potato (*Solanum tuberosum* L.). Chem. Abstr. 117: 190.048v.
- Tavares, M.; Tavares de Melo, A.M.; Scivittaro, W.B. 1999. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados coma produção de pimentão. Bragantina, Campinas. 58(1): 41-47.
- Thomas, R.L.; Sheard, R.W.; Moyer, J.R. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant tissue using a single digestion. Agron. J. 59: 240-243.
- United States Soil Conservation Service (USSSL). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaly soils. United States Department of Agriculture. Handbook 60. Washington D. C., USA. pp: 160.
- Urrestarazu, M.; Castillo, J.E.; Salas, M.C. 2002. Técnicas culturales y calidad del pimiento. Horticultura. 159(3): 18-26.
- Vanangamudi, K.; Subramanian, K.S.; Baskaran, M. 1990. Influence of irrigation and nitrogen on the yield and quality of chilli fruit and seed. Seed Res. 18(2): 114-116.
- Vanderslice, J.T.; Higos, D.J.; Hayes, J.M.; Block, G. 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-aseaten. J. Food Compos. Anal. 3: 105-118.
- Vilmorin. 2013. Ficha descriptiva Pimiento Vidi F1. Obtención Vilmorin. Disponible en: [http://www.guiaverde.com/guia\\_de\\_plantas/capsicum\\_annuum\\_284](http://www.guiaverde.com/guia_de_plantas/capsicum_annuum_284). Último acceso: 28/03/2013.
- Viñals, F.N.; Ortega, R.G.; García, J.C. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajies. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp: 607.
- Wang, S.Y. 2006. Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. Acta Hort. 712: 299-305.
- Wolf, B. 1974. Improvements in the azometine-H method for the determination of boron. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 5: 39-44.

- Worthington, V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Altern. Complem. Med.* 7(2): 161-173.
- Yahia, E. M.; Contreras-Padilla, M.; Gonzalez-Aguilar, G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Lebensm. Wiss. Technol.* 34: 452-457.
- Yao Li-Xian; Li Guo-Liang; Tu Shi-Hua; Sulewski Gavin; He Zhao-Huan. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Sci. Total Environ.* 383(1-3): 106-114.





## Conclusiones

---

**1-** Las características nutritivas del estiércol deshidratado y granulado de pollo (de nombre comercial BIOF-1) son más estables que las del estiércol fresco de origen. Es un producto totalmente higienizado, no contiene bacterias fecales ni restos de antibióticos y no desprende mal olor.

**2-** Se demostró que en cultivo de lechuga de otoño-invierno y primavera la aplicación de BIOF-1 para suministrar  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $532,0\text{-}634,7 \text{ g m}^{-2}$ ), origina rendimientos en general superiores, tanto en producción como en número de lechugas comerciales, a los obtenidos con abonos minerales convencionales y de liberación lenta.

**3-** El abono BIOF-1 tiene efecto residual en la producción de lechuga en cualquier época del año cuando se utilizan dosis a partir de  $500 \text{ g m}^{-2}$ , por tanto aportando  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Esta dosis permite realizar una única aplicación para la obtención de dos cosechas comerciales.

**4-** Dosis crecientes de BIOF-1 se traducen en incrementos proporcionales en el contenido de nitratos en planta, tanto en invierno como en verano, lo que indica que una gran parte del N orgánico del estiércol se mineraliza y es disponible a corto plazo. Este aspecto se ve apoyado por la respuesta obtenida en la producción de lechuga.

**5-** El incremento de nitratos en lechuga producido por la aplicación de BIOF-1 es comparable al que supone la utilización de abonos minerales para suministrar al cultivo dosis similares de N.

**6-** En invierno no deben superarse dosis de BIOF-1 que proporcionen más de  $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$  ( $1000 \text{ g BIOF-1 m}^{-2}$ ), ya que la baja luminosidad de esta época junto con dosis elevadas de nitrógeno, podrían producir concentraciones de nitratos en hojas externas que podrían alcanzar los límites máximos establecidos por la legislación europea.

**7-** La aplicación de BIOF-1 en el cultivo de lechuga aumenta la conductividad eléctrica en el suelo de forma proporcional a la dosis. Con el fin de evitar posibles riesgos de salinización a largo plazo se recomienda no utilizar cantidades de BIOF-1 que superen los  $600 \text{ g m}^{-2}$  ( $135 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en otoño y los  $1200 \text{ g m}^{-2}$  ( $240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en primavera para el cultivo de lechuga en invernadero.

**8-** Se demostró que en cultivo de pimiento tipo Lamuyo la aplicación de BIOF-1 para suministrar  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $265,9 \text{ g m}^{-2}$ ), origina producciones de pimiento de igual calidad y categoría comercial que los conseguidos con un fertilizante mineral de

liberación lenta aplicado en una dosis ajustada para suministrar 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (83,3 g m<sup>-2</sup>).

**9-** Los niveles de fertilidad NPK que se alcanzan en suelo al final del cultivo de pimiento son similares cuando se aplica Nitrofoska Stábil para aportar 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (83,3 g m<sup>-2</sup>) y dosis de BIOF-1 entre 266 y 443 g m<sup>-2</sup> (lo que supone entre 60 y 100 kg de N ha<sup>-1</sup>). La aplicación de 532 g m<sup>-2</sup> (120 kg N ha<sup>-1</sup>) del estiércol sí incrementa la fertilidad NPK respecto al abonado mineral.

**10-** En cultivo de pimiento, dosis de BIOF-1 de hasta 532 g m<sup>-2</sup> (120 kg N ha<sup>-1</sup>), determinan incrementos de Mg y K de cambio y de elementos solubles en la disolución, sin llegar a salinizar el mismo.

**11-** Con respecto al abonado mineral de liberación lenta, la fertilización con BIOF-1 no produce modificaciones en parámetros de calidad del pimiento, como la concentración de vitamina C y de proteína.



