

# ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DE TRIGO PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

MATEOS, I.<sup>1</sup>; RANILLA, M. J.<sup>1</sup>; SARO, C.<sup>1</sup>; PALACIOS, C.<sup>2</sup>; DÍAZ, A.<sup>1</sup>; TEJIDO, M.L.<sup>1</sup> Y CARRO, M.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue investigar las diferencias en el rendimiento productivo y el valor nutritivo entre el cultivo ecológico y convencional de trigo invernal para su utilización en alimentación animal. La producción de forraje fue determinada en el mes de mayo de tres años consecutivos y la producción de paja y grano se determinó en el mes de julio de los dos primeros años. Las muestras fueron secadas para determinar su composición química y su digestibilidad *in vitro*. Adicionalmente, 500 mg de cada muestra fueron incubados con 50 mL de líquido ruminal tamponado a 39°C. En estas incubaciones se midió la producción de gas a diferentes tiempos para estimar la cinética de fermentación y se analizaron los parámetros de fermentación tras 24 horas de incubación. La producción de forraje, grano y paja fue mayor en las parcelas convencionales que en las ecológicas. El contenido en proteína bruta fue más bajo en el cultivo ecológico que en el convencional, tanto para el forraje como para el grano. La digestibilidad *in vitro* fue similar para los dos tipos de cultivo y no existieron diferencias en la cinética de degradación ni en la producción de ácidos grasos volátiles. Los resultados indican que el cultivo ecológico provocó una disminución de la producción y en el contenido de proteína en el forraje y en los granos de trigo, pero no se observaron efectos en la degradación ruminal. Estos resultados indican que el sistema de cultivo del trigo afecta a su composición

---

<sup>1</sup> Departamento Producción Animal. Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071 León

<sup>2</sup> Departamento de Construcción y Agronomía. Universidad de Salamanca. 37007 Salamanca

<sup>3</sup> Departamento de Producción Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

\*Correo electrónico: imata@unileon.es

química y por ello debe realizarse una valoración previa del mismo cuando se utilice para alimentación animal.

**Palabras clave:** trigo, valoración nutritiva, ecológico, rumiantes

## ABSTRACT

The objective of this study was to assess the differences in yield and nutritive value of organically and conventionally grown wheat crops as animal feeds. Forage yield was determined in May in three consecutive years and straw and grain yield was determined in July in the two first years. Samples were dried to determine their chemical composition and *in vitro* digestibility. Additionally, 500 mg of each sample were incubated with 50 mL of buffered rumen fluid at 39°C to estimate rumen fermentation kinetics and fermentation parameters after 24 hours. Forage, grain and straw yield was greater in conventionally grown crops than in organic ones. Crude protein content was lower in organically grown wheat, both for the forage or the grain. *In vitro* digestibility was similar in both types of cultures and there were no differences in degradation kinetics parameters or volatile fatty acids production. Results indicate that organic cultivation lead to a decrease in yield and crude protein content in forage and wheat grain, but there were no differences in their ruminal degradation. These results indicate that cultivation system affects chemical composition of wheat and, therefore, it is necessary to assess the nutritive value of organically grown cereals intended for animal feeding.

**Keywords:** wheat, nutritive value, organic, ruminant

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ecológica se define como un compendio de técnicas agrarias que excluyen normalmente el uso de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales. La agricultura ecológica se basa en una serie de principios y objetivos, así como en unas prácticas comunes diseñadas para minimizar el impacto humano en el medio ambiente, mientras se asegura que el sistema agrícola funcione de la forma más natural posible.

La producción ganadera es fundamental en la organización de la producción agrícola de las explotaciones ecológicas, ya que proporciona la materia y los nutrientes orgánicos necesarios para la tierra en cultivo y contribuye así a la mejora del suelo y al desarrollo de una agricultura sostenible.

Las prácticas agrarias ecológicas más usuales son:

- Rotación de cultivos como prerequisite para el uso eficiente de los recursos *in situ*.

- Límites muy estrictos en el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, antibióticos para ganado, aditivos y coadyuvantes en alimentos y otros insumos.
- Prohibición del uso de organismos modificados genéticamente.
- Aprovechamiento de los recursos *in situ*, tales como el estiércol para la fertilización o alimentos para el ganado producidos en la propia granja.
- Selección de especies vegetales y animales resistentes a enfermedades y adaptadas a condiciones locales.
- Cría de ganado en zonas al aire libre y espacios abiertos y alimentación ecológica.
- Uso de prácticas apropiadas para la cría de diferentes especies de ganado.

Las granjas ecológicas no sólo dependen de la naturaleza para la producción de cultivos y la cría de ganado, sino que en realidad son parte de ella. Los productores ecológicos trabajan de manera que los sistemas de producción que utilizan para la elaboración de alimentos se aproximen lo más posible a los procesos naturales.

Los agricultores utilizan un sistema basado en el concepto de ciclos naturales cerrados. Por ejemplo, el uso de abono y otras fuentes de materia orgánica minimizan la erosión del suelo, las pérdidas de nutrientes y agua y redundan en el buen estado del suelo.

Las granjas ecológicas hacen posible la armonía entre la naturaleza y el hombre a través de procedimientos prácticos y, al mismo tiempo, de bajo impacto medioambiental, como por ejemplo, la eliminación mecánica de malas hierbas en vez del uso de herbicidas.

La agricultura ecológica es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales actuales y futuras de la mayoría de los secanos españoles, duplicando la productividad energética de las agriculturas con agroquímicos (1). Además, este tipo de agricultura puede permitir un margen de beneficios económicos mayor que la agricultura convencional, debido al mayor precio de los productos ecológicos en el mercado, aunque sin la diferencia de precios la agricultura ecológica puede ser tan rentable como la convencional (2).

### **1.1. Situación de la agricultura ecológica en el Mundo**

En el Mundo, 37,2 millones de hectáreas se destinan a la producción ecológica, lo que supone un 0,76% de la superficie total de tierra agrícola. Un tercio de la superficie de tierra dedicada a la agricultura ecológica se encuentra en Oceanía, seguida

de Europa con un 29% y Latinoamérica con un 18% del total mundial (3). Los países con mayor superficie de tierra dedicada a la agricultura ecológica son: Australia con 12 millones de hectáreas, Argentina con casi 4 millones, y con casi 2 millones se encuentran China y Estados Unidos, seguidos muy de cerca por España con 1,6 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura ecológica, lo que la sitúa en el quinto país del mundo como se muestra en la Figura 1.

En el mundo, más de dos tercios de los países incluidos en el informe de agricultura ecológica global, dedican menos del 1% de su superficie a esta práctica agrícola. Los grandes porcentajes de tierra dedicada a esta agricultura se encuentran en Europa, donde el 66% de los países poseen más del 1% de tierra destinada a la agricultura ecológica. Esto se debe a que los productos ecológicos son cultivados por gran número de agricultores en muchas áreas de la Unión Europea, puesto que hay una demanda creciente de estos por parte de los consumidores. En Europa, España e Italia son los países con mayor superficie de tierra dedicada a la agricultura ecológica, con más de un millón de hectáreas cada uno de ellos. Además España, en 2011, fue el tercer país que más aumentó la superficie de tierra dedicada a agricultura ecológica (3).

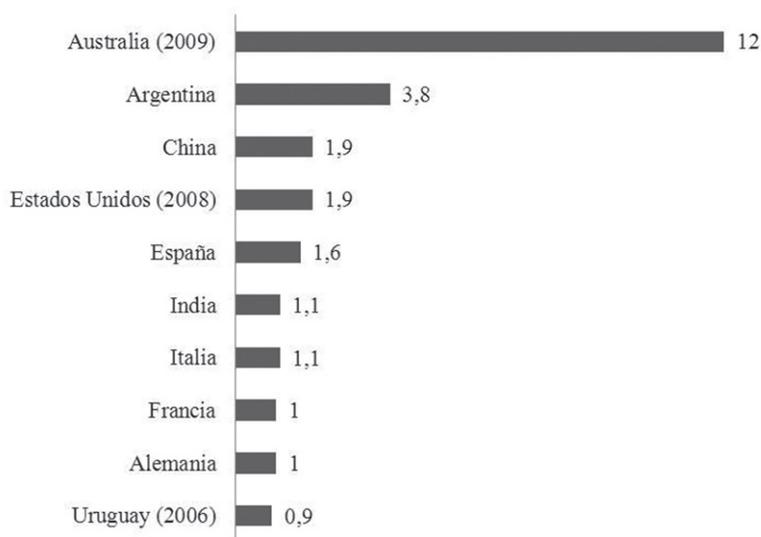


Figura 1. Los 10 países con más tierra dedicada a la agricultura ecológica en 2011 (millones de hectáreas) (3).

De la superficie de tierra ecológica arable cultivable (unos 6,3 millones de hectáreas) un 40,2% es dedicada a la producción de cereales ecológicos, situándose España con 175 880 ha en el sexto puesto del mundo con mayor cantidad de tierra arable dedicada al cultivo de cereales ecológicos. Dentro de los cereales cultivados de forma ecológica el trigo es el más sembrado en el mundo (44%). según datos de 2013 (3), Figuras 2 y 3.

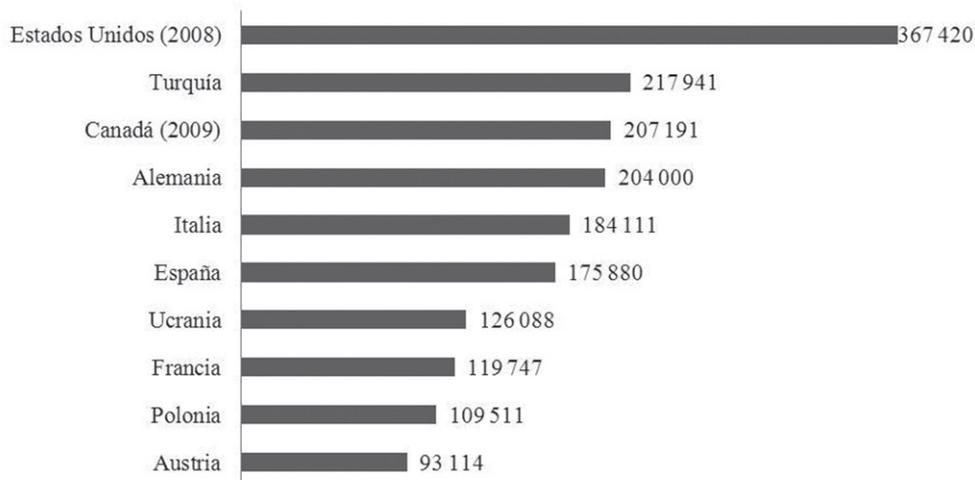


Figura 2. Países con mayor área de producción de cereales orgánicos en 2011 (hectáreas) (3)

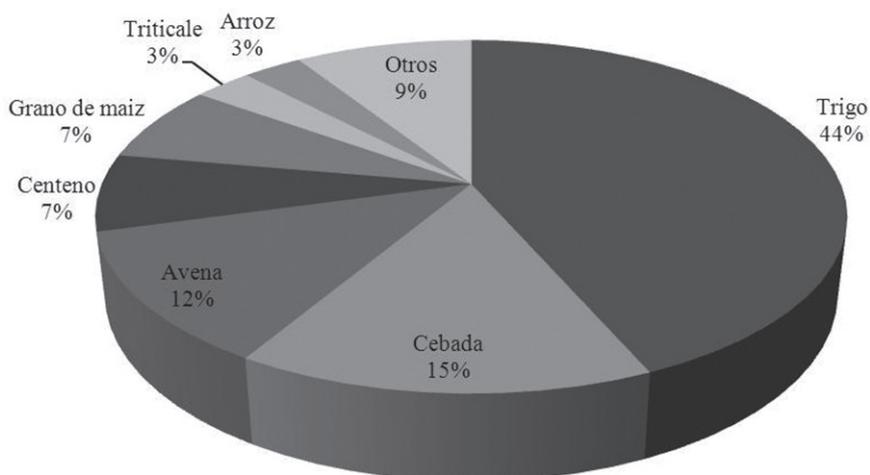


Figura 3. Distribución de la tierra dedicada a cereales orgánicos a nivel mundial según el tipo de cereal (Un total de 2,5 millones de hectáreas) (3)

## 1.2. Situación de la agricultura ecológica en España



La agricultura ecológica se encuentra regulada legalmente en España desde 1989, cuando se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica “Agricultura Ecológica” que fue de aplicación hasta la entrada en vigor del Reglamento (CEE) 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indica-

ción en los productos agrarios y alimenticios.

Desde el 1 de enero de 2009 la producción ecológica se encuentra regulada en la Unión Europea por el Reglamento (CE) No 834/2007 del Consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga en el Reglamento (CEE) 2092/91. Asimismo, el Reglamento (CE) 889/2008 de la Comisión establece disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 834/2007 con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y control, y el Reglamento (CE) 1235/2008 de la Comisión establece las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 834/2007 en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países

En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es competencia de las comunidades autónomas y se lleva a cabo mayoritariamente por autoridades de control públicas, a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica Territoriales, que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura, o directamente por Direcciones Generales adscritas a los mismos. No obstante, las comunidades autónomas de Andalucía y Castilla-La Mancha han autorizado organismos privados para la realización de estas funciones, y en el caso de Aragón las autoridades competentes han designado una autoridad de control pública y han autorizado a su vez organismos de control privados.

Como distintivo para que el consumidor pueda diferenciar en el mercado los productos de la agricultura ecológica, todas las unidades envasadas, además de su propia marca y alguna de las menciones específicas de la agricultura ecológica, llevan impreso el código de la autoridad y organismo de control o un logo específico, con el nombre y el código de la entidad de control. También puede ir impreso el logo comunitario de la agricultura ecológica, que es obligatorio, en un nuevo diseño, a partir del 1 de julio de 2010, en las condiciones establecidas en la normativa. Todo ello significa que la finca o industria donde se ha obtenido o elaborado el producto está sometida a los controles e inspecciones correspondientes de la autoridad o del organismo establecido al efecto en la respectiva comunidad autónoma. Constituye,

a su vez, la única garantía oficial de que el producto responde a la calidad supuesta por el consumidor y cumple las normas establecidas en el Reglamento (CE) 834/2007 y sus disposiciones de aplicación (4).

Tabla 1. Superficie (ha) de agricultura ecológica en 2012 (5)

Comunidad Autónoma	Superficie Calificada en Agricultura Ecológica (a)	Superficie Calificada en Conversión (b)	Superficie Calificada en Primer Año de Prácticas (c)	Superficie Total Inscrita en Agricultura Ecológica (a+b+c)
Andalucía	720 693	31251	197 082	949 026
Aragón	50 526	4757	4141	59 424
Asturias	19 940	1487	1101	22 528
Islas Baleares	21 959	1116	2478	25 553
Canarias	2838	376	109	3323
Cantabria	6374	341	0	6715
Castilla-La Mancha	224 775	66 658	5707	297 140
Castilla y León	20 216	7203	3159	30 578
Cataluña	55 163	11 208	11 030	77 401
Extremadura	54 057	14 239	5998	74 294
Galicia	14 432	104	555	15 091
C. de Madrid	5676	958	564	7198
Región de Murcia	54 937	2669	1215	58 820
C. foral de Navarra	69 405	490	3236	73 432
La Rioja	3646	398	193	4237
País Vasco	1565	429	445	2439
C. Valenciana	40 665	6668	2316	49 649
<b>Total Nacional</b>	<b>1 366 866</b>	<b>150 354</b>	<b>239 328</b>	<b>1 756 548</b>

Nuestro país reúne condiciones para el desarrollo de este tipo de agricultura por su favorable climatología y los sistemas extensivos de producción que se aplican en un gran número de cultivos. En lo que respecta a la producción animal, la conservación de un patrimonio genético importante de razas autóctonas, de gran rusticidad en su mayoría y adaptadas al medio, favorece su cría y explotación en régimen extensivo (4). La superficie dedicada a la agricultura ecológica en España se muestra en la Tabla 1, desglosada por comunidades autónomas.

En esta tabla podemos ver que España cuenta con 1 756 548 hectáreas inscritas en agricultura ecológica de las que más de un millón se encuentran en Andalucía y Castilla-La Mancha con 949 026 ha y 297 140 ha respectivamente. Cabe destacar que hay cinco comunidades autónomas que cuentan con menos de 10 000 ha inscritas

en agricultura ecológica, Madrid (7198 ha), Cantabria (6715 ha), La Rioja (4237 ha), Canarias (3323 ha) y País Vasco (2439 ha).

Dentro de la agricultura ecológica, la superficie de tierra dedicada a cultivos de tierras arables es del 15% y la producción de cereales para la producción de grano representa el mayor porcentaje, alcanzando el 64,97% de la superficie de cultivos de tierras arables (5; ver Figuras 4 y 5).

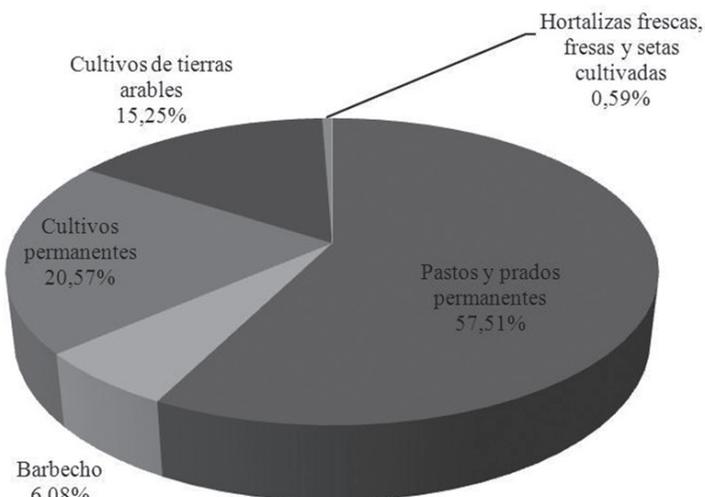


Figura 4. Superficie de agricultura ecológica por tipo de cultivo en España en 2012 (5)

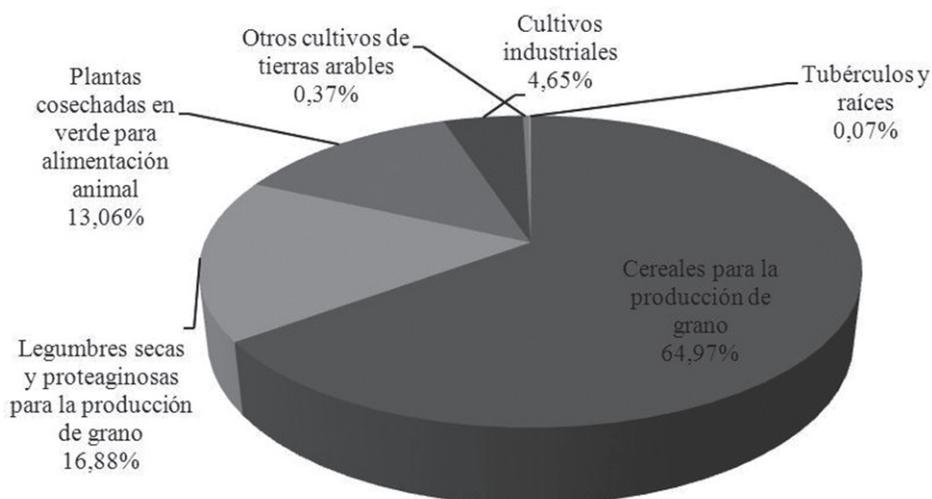


Figura 5. Superficie de agricultura ecológica por tipo de cultivo. Cultivos de tierras arables en España en 2012 (5)

Los sistemas de producción de ganadería ecológica tienen como objetivo principal ofrecer a los consumidores alimentos de origen animal de gran calidad, tanto desde el punto de vista sanitario como del nutritivo y organoléptico. En el año 2012, España contaba con 6104 explotaciones de ganadería ecológica, de las cuales 1739 pertenecen a ganado ovino, al cual se destina el cereal analizado en este trabajo. Del total de explotaciones de ganado ovino de cría ecológica, 1179 se encuentran en Andalucía y 155 en Baleares, no superando ninguna otra comunidad autónoma las 100 explotaciones (ver Figura 6).

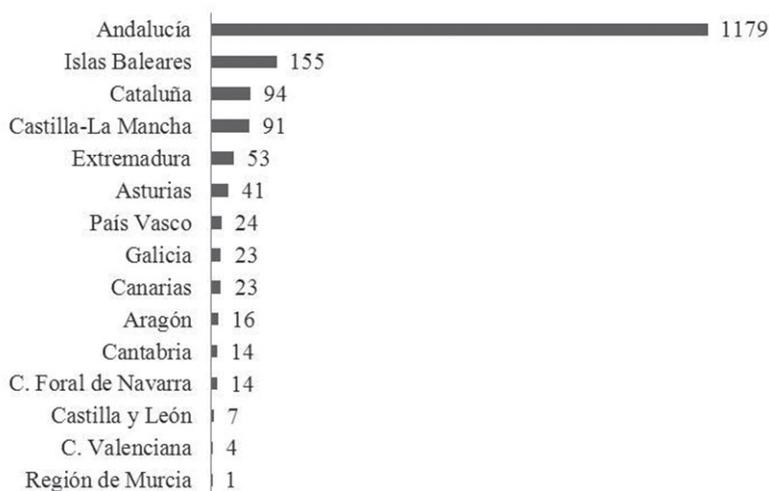


Figura 6. Distribución en España de las explotaciones de ovino de cría ecológica en 2012 (5)

### 1.3. Control y certificación

La certificación es necesaria para poder garantizar que el sistema de producción ecológico de los alimentos llegue al consumidor con las máximas garantías.

El cumplimiento de las disposiciones del Reglamento se controla mediante una o varias autoridades competentes designadas por los Estados miembros, basándose en el Reglamento (CE) 882/2004 sobre los controles oficiales efectuados para garantizar la verificación del cumplimiento de la legislación en materia de piensos y alimentos y la normativa sobre salud animal y bienestar de los animales y en medidas precautorias y de control establecidas por la Comisión.

La autoridad competente podrá delegar funciones de control en un organismo de control determinado. Este organismo de control debe garantizar tres características fundamentales:

- Poseer los conocimientos técnicos, el equipo y la infraestructura necesarios para desempeñar las funciones.
- Contar con personal suficiente con la cualificación y experiencia adecuadas.
- Ser imparcial y no tener ningún conflicto de intereses por lo que respecta al ejercicio de las funciones que se le deleguen.

Las autoridades competentes no delegarán en organismos de control ninguna de las siguientes funciones:

- La supervisión y auditoría de otros organismos de control.
- Las competencias para conceder excepciones.

Además, la autoridad competente deberá:

- Garantizar que los controles realizados por el organismo de control sean objetivos e independientes.
- Verificar la eficacia de sus controles.
- Tener conocimiento de toda irregularidad o infracción detectada y de las medidas correctoras aplicadas.
- Retirar la delegación dada a los organismos que no cumplan los requisitos que deben.

Las autoridades de control y los organismos de control transmiten a las autoridades competentes, a más tardar el 31 de enero de cada año, una lista de los operadores que estaban sujetos a sus controles el 31 de diciembre del año anterior. El 31 de marzo de cada año como muy tarde, entregan un informe resumido de las actividades de control realizadas durante el año anterior.

La naturaleza y frecuencia de los controles se determinarán basándose en una evaluación de riesgo de que se produzcan irregularidades e infracciones. En cualquier caso, todos los operadores, a excepción de los mayoristas, que sólo trabajan con productos envasados, y de los operadores, que venden directamente al consumidor o usuario final (a condición de que no produzcan, elaboren o almacenen los productos, salvo en el punto de venta), deberán someterse a una verificación de su cumplimiento al menos una vez al año.

En España, el control y la certificación de la producción agraria ecológica es competencia de las comunidades autónomas y se lleva a cabo mayoritariamente por autoridades de control públicas, a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica territoriales, que son organismos dependientes de las correspondientes Consejerías o Departamentos de Agricultura, o directamente por Direcciones Generales adscritas a las mismas.

No obstante, las comunidades autónomas de Andalucía y Castilla La Mancha, han autorizado organismos privados para la realización de estas funciones y, en el caso de Aragón, las autoridades competentes han designado una autoridad de control pública y han autorizado a su vez organismos de control privados.

Como distintivo para que el consumidor pueda distinguir en el mercado los productos de la agricultura ecológica, todas las unidades envasadas, además de su propia marca y alguna de las menciones específicas de la agricultura ecológica, llevan impreso el código de la autoridad y organismo de control o un logo específico, con el nombre y el código de la entidad de control. También puede ir impreso el logo comunitario de la agricultura ecológica.

Todo ello significa que la finca o industria donde se ha producido o elaborado el producto, está sometida a los controles e inspecciones correspondientes por parte de la Autoridad o del Organismo establecido para ello en la respectiva Comunidad Autónoma. Constituye así la única garantía oficial de que el producto responde a la calidad supuesta por el consumidor y cumple las normas establecidas en el Reglamento (CE) 834/2007 y sus disposiciones de aplicación.

#### 1.4. Agricultura ecológica en Castilla y León



La superficie de tierra dedicada a la producción de agricultura ecológica en Castilla y León es de 30 578 hectáreas, como se expone en la Tabla 2. En esta tabla se puede observar que las provincias con más de 4000 hectáreas inscritas en agricultura ecológica son Valladolid y Zamora. Las provincias con un menor número de hectáreas inscritas en esta agricultura son Salamanca y Soria con 846 y 847 ha respectivamente.

En lo que se refiere a la ganadería de ovino, en Castilla y León están registradas siete explotaciones de ganado ovino ecológico, con un total de 4113 animales. Tres de ellas son de ovino de carne, en Palencia

(107 ovejas) y Zamora (1063 ovejas) con un total de 1170 ovejas, y las otras cuatro son de ovino de leche, en Zamora (1297 ovejas), en Burgos (815 ovejas) en Salamanca (327 ovejas) y en Segovia (504 ovejas) con un total de 2943 ovejas (5).

**Tabla 2. Superficie (ha) de agricultura ecológica en Castilla y León en 2012 (4)**

Castilla y León	Superficie Calificada en Agricultura Ecológica (a)	Superficie Calificada en Conversión (b)	Superficie Calificada en Primer Año de Prácticas (c)	Superficie Total Inscrita en Agricultura Ecológica (a+b+c)
Ávila	3062	240	204	3505
Burgos	2536	296	208	2968
León	923	271	279	1473
Palencia	2770	136	78	2984
Salamanca	388	228	230	846
Segovia	2265	310	335	2909
Soria	636	196	15	847
Valladolid	2385	1714	847	4947
Zamora	5250	3813	1037	10 100
<b>Total</b>	<b>20 216</b>	<b>7203</b>	<b>3159</b>	<b>30 578</b>

### 1.5. El cultivo ecológico de trigo

El cultivo ecológico de este cereal suele seguir unos principios generales (6) que se describen a continuación:

- Manejo integrado de toda la granja. El agricultor integra técnicas de manejo en la granja para optimizar la interacción entre distintas actividades de la granja. El diseño de la granja debe facilitar el manejo eficiente de las instalaciones. La rotación de cultivos debe mantener las condiciones del suelo y controlar las malas hierbas, las plagas y las enfermedades. Debe haber una integración de los animales con el pastoreo rotacional para el manejo de los pastos y las malas hierbas y mantener el ciclo del carbono y de los nutrientes. Se debe mantener una actividad biológica adecuada en el suelo para que se pueda llevar a cabo el ciclo de los nutrientes a partir de recursos renovables, evitando así el uso de fertilizantes. Es necesaria una buena rotación de cultivos y un manejo hábil de los pastos para

reducir al máximo la aparición de malas hierbas. El control de plagas y enfermedades del cultivo debe hacerse con un crecimiento equilibrado de las plantas, unas rotaciones con sentido y un manejo cuidadoso del cultivo.

- La diversidad biológica crea estabilidad ecológica. La rotación de cultivos hace que se mantengan las tierras libres de vegetales no deseados. Esta diversidad permite a su vez el mantenimiento de organismos beneficiosos, tanto fuera como dentro de la tierra.
- Rendimiento sostenible dentro de la capacidad productiva de la tierra. Todo ello sin la aplicación de productos químicos ni fertilizantes artificiales.
- Cultivos sanos procedentes de una tierra sana. Aplicación a la tierra de materia orgánica, para la formación de humus. La rotación de cultivos permite el aprovechamiento de los nutrientes del suelo a distintos niveles, manteniendo la estructura en capas del terreno.
- Coexistencia con el entorno y protección del mismo. Es importante mantener la diversidad biológica en torno a la granja. El uso de recursos no renovables debe ser el mínimo posible.

En 2012 en España la superficie total inscrita como ecológica cultivada de trigo es de unas 44 651 ha de las cuales 38 154 ha son de superficie productiva con una producción estimada respecto de la superficie de 38 213 t. (5).

En Castilla y León la superficie cultivada total inscrita dedicada al trigo es de 2228 ha con una superficie productiva de 1491 ha y una producción estimada de 1911 t. (5).

La agricultura ecológica ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años a nivel mundial. En el caso de Europa, el aumento de este tipo de producción ha sido notable y España se posiciona como uno de los primeros países tanto en el marco comunitario como mundial. Cabe destacar que el consumo de productos de origen animal criados de manera ecológica está aumentando de forma progresiva en España en los últimos años (7). A la hora de formular dietas ecológicas para alimentar a estos animales, se deben sustituir los alimentos obtenidos de forma convencional por los obtenidos de forma ecológica, pero para poder formular dietas equilibradas es necesario conocer su valor nutritivo. A pesar de la importancia de este aspecto, la mayoría de estudios que han analizado el efecto del sistema de cultivo (convencional vs. ecológico) se han realizado en alimentos producidos para el consumo humano y apenas se han publicado estudios sobre el valor nutritivo de cereales ecológicos. Conocer el valor nutritivo de los alimentos es imprescindible para asegurar la correc-

ta alimentación de los animales manejados en condiciones ecológicas con el fin de asegurar la salud, el bienestar y la productividad de los mismos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue comparar la producción, composición química y valor nutritivo de trigo, cultivado de forma convencional y de forma ecológica, y recolectado en dos épocas distintas de su ciclo productivo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Fariza de Sayago, en la comarca de Sayago (Zamora). La situación geográfica de dicha localidad se muestra en la Figura 7.

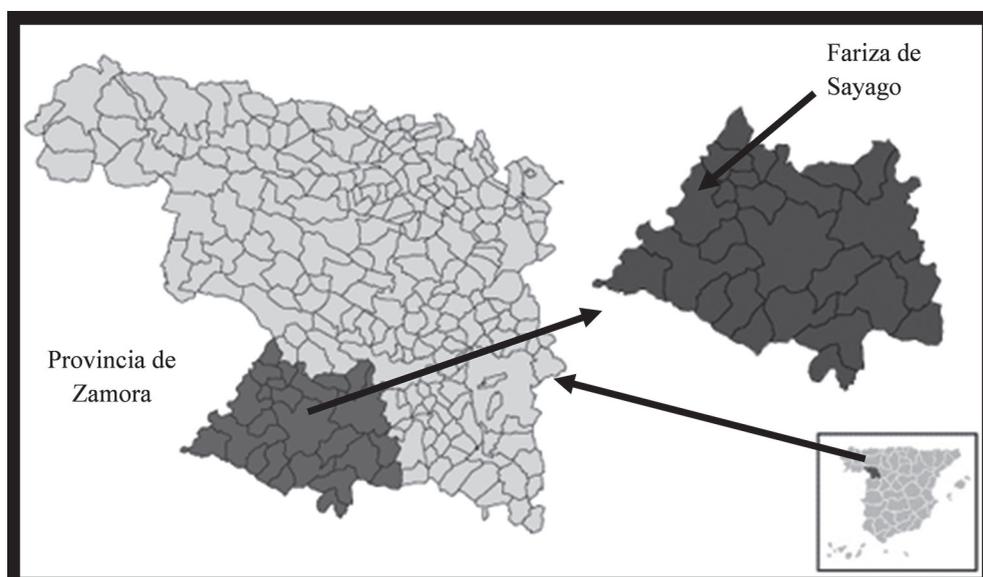


Figura 7. Enclave de la comarca de Sayago

La comarca de Sayago se extiende por un territorio de aproximadamente unas 240 000 hectáreas, con una gran diversidad paisajística y de ecosistemas. La agricultura es uno de los sectores que menos se ha explotado en la comarca de Sayago, debido principalmente a la escasa fertilidad del suelo. A pesar de ello, se pueden observar diferentes zonas dedicadas al cultivo, que al igual que en el caso de explotaciones ganaderas son de pequeña dimensión. Estas pequeñas fincas en las que se realiza el cultivo, están cerradas por muros que, contruidos a base de piedras de granito de

tamaño medio, dan al territorio ese aspecto tan característico solo visible en la zona de Sayago; además, son pocas las fincas que disponen de puertas, sino que se utilizan ramas de gran tamaño para su cerramiento.

Dentro del sector ganadero, en la comarca existen explotaciones de vacas de carne, ovejas de carne y de leche, caballos, cabras, asnos, cerdos, gallinas, palomas, conejos y abejas. De todas ellas, solo subsisten con firmeza las de ovino, bovino y porcino, mientras que otras producciones como las palomas, conejos y abejas suponen una actividad complementaria. El sector ovino ha sido y es un importante medio de vida de los sayagueses. De las ovejas se obtenía lana, estiércol, leche y corderos. El número de ganaderos dedicados al sector ovino ha disminuido considerablemente desde hace 20 años hasta la actualidad, y lo sigue haciendo, ya que cada vez es menor el número de gente dispuesta a realizar el trabajo de su cría. Las razas más destacadas son la castellana y la subraza churra-sayaguesa. En este trabajo nos hemos centrado en estudiar la valoración nutritiva del trigo ecológico como alimento para esta especie.



Figuras 8 y 9. Cerramientos de piedra de las fincas

## 2.2 Parcelas experimentales y su cultivo

Para el estudio se dispuso de una superficie de media hectárea, en la cual se delimitaron seis parcelas de 10 x 20 m cada una de ellas. La distancia entre parcelas fue de 10 m en todos los lados. Tres de las parcelas se cultivaron en régimen convencional y las otras tres en régimen ecológico. Todas las parcelas habían sido cultivadas en régimen ecológico durante un período de 3 años antes del inicio de la prueba experimental. Las labores de cultivo y recolección se describen a continuación. Las parcelas se dedicaron a barbecho el año anterior al comienzo de esta prueba, y en abril de 2008 se araron y se añadió estiércol de ovino a todas las parcelas. En el mes de septiembre de 2008 se preparó la tierra para sembrar, utilizando un arado de media

vertedera y un cultivador. En octubre de 2008 se realizó la siembra del trigo (200 kg/ha), utilizando el sistema “a voleo” para una distribución uniforme de las semillas. En todas las parcelas se utilizaron semillas ecológicas, para analizar las posibles diferencias debidas exclusivamente al método de cultivo. En el caso de las parcelas convencionales, después de la siembra se aplicó un tratamiento mineral N-P-K (8-15-15) a una dosis de 100 kg/ha. A continuación se pasó el cultivador nuevamente. En enero de 2009, en las parcelas convencionales se aplicó un tratamiento fitosanitario con clorsulfuron (Belure®; 16 g/ha) y un abono de cobertera con un 27% de N (13,5% amoniacal, 13,5% nítrico y 3,5% óxido de magnesio) a una dosis de 80 kg/ha.

La recolección de las muestras se llevó a cabo en mayo y julio de 2009 y 2010 y en mayo de 2011. En todas las ocasiones se utilizó un cuadrado de 1 m de lado, el cual se lanzó al azar en cada parcela cinco veces y se cortó el material vegetal que se encontraba en el interior del mismo (ver Figura 10). El material se recogió en bolsas de plástico, se pesó en fresco, se secó en estufa a 50°C hasta peso constante y se pesó de nuevo para determinar su contenido en materia seca (MS). Tras el secado, en las muestras obtenidas en julio se diferenciaron las fracciones paja, grano y glumas en el año 2009 y solamente en paja y grano en el año 2010, y se determinó la producción de cada una de ellas por separado. Una vez obtenidas y determinado su contenido en MS, las cinco muestras de cada parcela se mezclaron para obtener una muestra representativa que se utilizó para los estudios de valoración nutritiva.



Figura 10. Recogida de material vegetal

En el mes de julio de 2009 se tomaron cinco muestras (100 g) del suelo de cada parcela, las cuales se mezclaron para formar una muestra representativa y analizar su composición química. Las muestras se secaron a temperatura ambiente durante 72 h y a continuación se tamizaron utilizando un tamiz de 2 mm de poro antes de realizar los siguientes análisis: El pH se determinó en agua y en una solución KCl 1 N, utilizando en ambos casos una relación 1:2 (25 g de suelo en 50 mL de líquido). El contenido en N se determinó mediante el método Kjeldahl (8), utilizando un equipo de destilación Kjeltex System 1002 (Tecator, AB, Suecia). El contenido en fósforo se analizó según el método descrito en un trabajo previo. (9). El análisis de minerales se llevó a cabo tras un proceso de extracción (10) y se cuantificaron mediante espectrometría de emisión atómica con *plasma* de acoplamiento *inductivo* (ICP-AES) en un equipo ICP-AES Perkin Elmer Optima 2000 DV (Perkin Elmer, Uberlingen, Alemania).

### **2.3. Pruebas de valoración nutritiva**

#### *2.3.1. Determinación de la composición química*

El contenido en MS de las muestras se determinó mediante desecación a 100°C en una estufa de ventilación forzada hasta alcanzar un peso constante (8). El contenido en cenizas se determinó por calcinación de las muestras en un horno de mufla a 550°C durante 12 horas, y el contenido en materia orgánica (MO) se calculó por diferencia. El contenido en N se determinó mediante el método Kjeldahl (8), utilizando un equipo de destilación Kjeltex System 1002 (Tecator, AB, Suecia).

El contenido en fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) se analizaron siguiendo la técnica secuencial descrita previamente por otros autores (11), adoptando las modificaciones propuestas por el fabricante (12). Para el análisis se utilizaron bolsas de poliéster (Ankom Corp #57) con un tamaño de poro de 30  $\mu\text{m}$  y unas dimensiones de 4,5 x 5,5 cm. Para el análisis del contenido en lignina ácido detergente se utilizaron las mismas bolsas de poliéster y el sustrato utilizado para determinar FND Y FAD, según la técnica de Goering y Van Soest (1970). Se depositaron las bolsas en un vaso de precipitados con una solución de ácido sulfúrico al 72% durante 3 horas; posteriormente, se procedió al lavado de las mismas según el procedimiento descrito por el fabricante (12).

### 2.3.2. Incubaciones *in vitro* en un sistema de cultivos discontinuos de microorganismos ruminales (CDMR)

Las incubaciones *in vitro* en CDMR se llevaron a cabo en viales de vidrio de 120 mL de capacidad, en cada uno de los cuales se pesaron 500 mg de MS del sustrato correspondiente. Todos los sustratos utilizados en estas pruebas se molieron previamente a un tamaño máximo de partícula de 1 mm, utilizando un molino de martillos tipo Culatti. Para las incubaciones se utilizó fluido ruminal diluido en el medio de cultivo descrito en trabajos anteriores (13) El contenido ruminal se extrajo de cuatro ovejas antes de la administración del alimento, se introdujo en termos aislantes e inmediatamente se trasladó al laboratorio, con el fin de mantener la temperatura y evitar el contacto con el aire. Una vez en el laboratorio, se mezcló el contenido, se filtró a través de una doble capa de gasa y el líquido recogido se mezcló con el medio de cultivo en proporción 1:4 (vol:vol).

La mezcla de todos los componentes del medio de cultivo, la del medio de cultivo con el fluido ruminal, y su dosificación dentro de los viales (50 mL) se realizó en condiciones de anaerobiosis (gaseado continuo con CO<sub>2</sub>) y a una temperatura de 39°C. Tras la dosificación, los viales se cerraron herméticamente con un tapón de caucho, se precintaron con cápsulas de aluminio (ver Figura 11) y se colocaron en un incubador a 39°C. En cada tanda de incubación se utilizaron dos viales por cada sustrato. Se realizaron cuatro tandas de incubación, en cuatro días diferentes, para obtener cuatro valores por muestra.

La mitad de los viales permanecieron en la estufa 144 horas y en ellos se midió la producción de gas a las 3, 6, 9, 12, 16, 21, 26, 31, 36, 48, 60, 72, 96, 120 y 144 horas, dejando salir el gas después de cada medición. La medida del gas producido se realizó utilizando un medidor de presión y una jeringa calibrada. Tras 144 horas de incubación se abrieron los viales y se filtró su contenido en crisoles de placa porosa para determinar la desaparición de MS. En el residuo de incubación se determinó su contenido en cenizas para calcular la desaparición de materia orgánica tras 144 h de incubación (DMO144).

La otra mitad de los viales permanecieron dentro del incubador durante 24 horas. Una vez finalizada la incubación se midió la cantidad de gas producido, se abrieron los viales y se determinó el pH de su contenido. Posteriormente, se tomaron muestras para analizar la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) y amoníaco. Para el análisis de la concentración de AGV, se tomaron 0,8 mL del contenido de cada vial y se mezclaron con 0,5 mL de una solución acidificante y desproteinizante (1 g de ácido metafosfórico y 5 g de ácido crotónico en 250 mL de ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N).

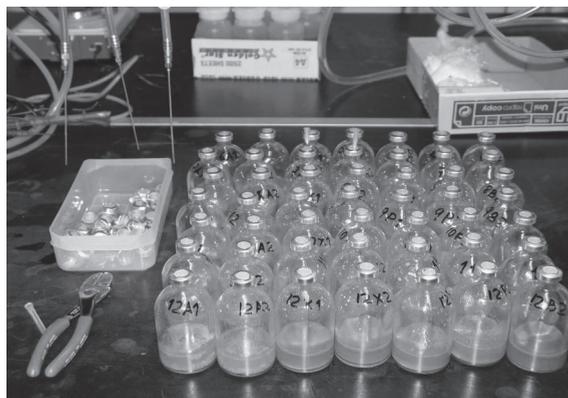


Figura 11. Cultivos discontinuos de microorganismos ruminales

La mezcla obtenida se dejó reposar durante 12 horas en frío (4°C) y se centrifugó a 16 000 x g durante 15 minutos a 4°C antes de proceder al trasvase del sobrenadante a viales de cromatografía. La concentración de AGV (ácetico, propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico y valérico) se determinó mediante cromatografía de gases, en un cromatógrafo Shimadzu GC-14B, provisto de un inyector automático, un detector de ionización de llama y una columna GP 60/80 Carbowax C/0.3% Carbowax 20M/0.1% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Supelco, Madrid, España). Las temperaturas de la columna, inyector y detector fueron 140°C, 150°C y 150°C, respectivamente.

El análisis de amoníaco (NH<sub>3</sub>) por colorimetría se llevó a cabo siguiendo la técnica descrita anteriormente (14). Este método está basado en la reacción del NH<sub>3</sub> presente en la muestra con fenol e hipoclorito sódico (NaClO), de tal forma que se produce indofenol. Las muestras del contenido de los viales tras 24 horas de incubación se centrifugaron a 10 000 x g durante 15 minutos a 4°C, y el sobrenadante obtenido se diluyó 50 veces con agua destilada. De esta dilución se tomó 1 mL y se mezcló con 5 mL de una solución formada por fenol (10 g/L) y nitroprusiato sódico (50 mg/L). Tras mezclar en un agitador durante 20 segundos se añadieron 4 mL de una solución compuesta por NaOH (5 g/L) y NaClO (8,4 ml/L), se agitó de nuevo y se introdujo en un baño con agua a 39°C durante 15 minutos. Transcurrido ese tiempo, se leyó la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro (Amersham-Biosciences® Ultrospec 500 pro) a una longitud de onda de 650 nm. Para la realización de la curva patrón se utilizó una solución de sulfato amónico 50 mM (0,6607 g/100 mL de agua destilada).

### 2.3.3. Determinación de la digestibilidad *in vitro*

Para determinar la digestibilidad *in vitro* se pesaron aproximadamente 400 mg de muestra en bolsas de poliéster (Ankom Corp #57) con un tamaño de poro de 30  $\mu\text{m}$  y unas dimensiones de 4,5 x 5,5 cm, previamente pesadas. Una vez llenas, las bolsas se sellaron y se introdujeron en botellas de 2,5 L de capacidad con una mezcla de líquido ruminal y medio de cultivo (1:4; 400 mL y 1600 mL respectivamente). El medio de cultivo fue el mismo que en las incubaciones anteriores (13). Una vez cerradas las botellas se introdujeron en un incubador (Ankom Daisy II; Ankom Technology Corp., Fairport, NY, Estados Unidos) a 39°C y con rotación continua. Las botellas estaban provistas de una válvula en la tapa que permite evacuar el gas formado durante la fermentación.

Pasadas 48 horas, las botellas se abrieron y las bolsas se lavaron con agua fría y se dejaron secar en una estufa a 60°C. Una vez secas, se pesaron para calcular la digestibilidad de la MS (DMS). Finalmente, se analizó el contenido en FND para calcular la digestibilidad verdadera de la MS (DVMS) y la digestibilidad de la FND (DFND).

### 2.3.4. Cálculos y análisis estadísticos

Los datos de producción de gas medidos en cada vial en cada tiempo de muestreo se ajustaron al modelo:  $y = A (1 - e^{-(c(t-lag))})$ , en el que  $c$  representa el ritmo de producción de gas,  $A$  su producción potencial,  $lag$  es el tiempo necesario para que comience la producción de gas y  $t$  es el tiempo de muestreo. El ajuste de los datos se llevó a cabo utilizando el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, Estados Unidos). La degradabilidad efectiva de la MO (DEMO) se estimó a partir de la desaparición de MO medida a las 144 h (DMO144), del ritmo de producción de gas, del valor de  $lag$  y de un ritmo de paso ( $k$ ) de 0,040  $\text{h}^{-1}$  de acuerdo con la siguiente fórmula:  $\text{DEMO} = \text{DMO144} (c / (c + k)) e^{-(k \times lag)}$ . El tiempo necesario para alcanzar el 50% de la producción potencial de gas (TM; h) se calculó según la fórmula:  $\text{TM} = [\ln(2) / c] + lag$ . El ritmo medio de producción de gas (RMPG; mL / h) se definió como el ritmo de producción de gas entre el inicio de la incubación y el tiempo al que se alcanzó el 50% de la producción potencial de gas y se calculó según la siguiente fórmula:  $\text{RMPG} = (A c) / 2 [\ln(2) + (c \times lag)]$ .

El análisis estadístico de los resultados se realizó de forma independiente para el tiempo de recolección. Los datos se sometieron a un análisis de varianza en el que se incluyeron como efectos principales el sistema de cultivo (convencional *vs.* ecológico)

y el día de incubación. En el caso de la producción de MS y la composición química el único efecto considerado en el análisis de varianza fue el sistema de cultivo. El nivel de significación estadística se estableció en  $P \leq 0,05$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 12 se muestran los valores medios mensuales de temperatura (máxima y mínima) y pluviometría en la zona de Fariza, durante los meses de agosto de 2008 hasta julio de 2009. Las temperaturas mínimas se registraron en diciembre y enero ( $-6,1$  y  $-3,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente), y las máximas en julio y agosto ( $33,7$  y  $35,5^{\circ}\text{C}$ ). En cuanto a la pluviosidad, osciló entre los 88 mm registrados en marzo y los 1044 mm registrados en enero.

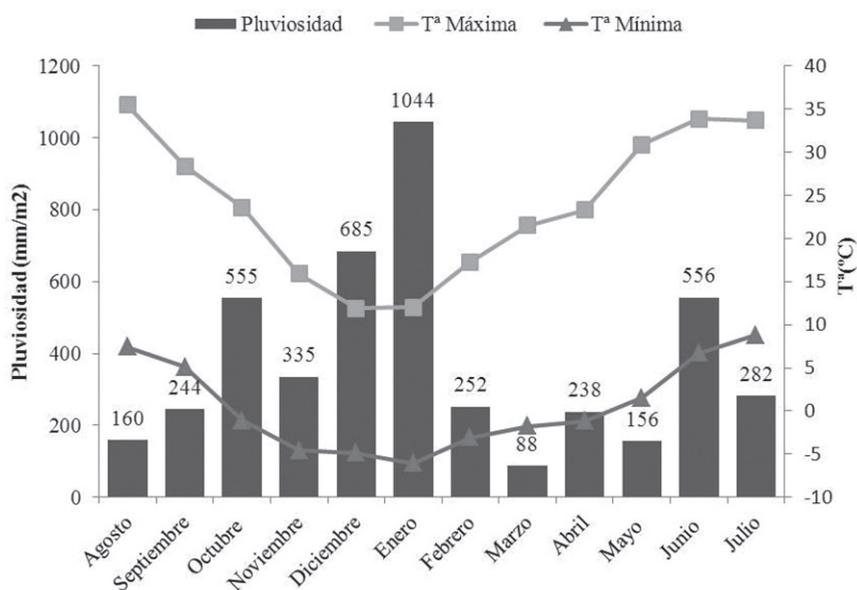


Figura 12. Climograma de Fariza desde agosto de 2008 hasta julio de 2009 (Datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología)

En la Tabla 3 figuran los datos relativos a producción de MS obtenida en los cortes de mayo y julio de 2009. Tanto en el corte de mayo como en el de julio no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la producción de MS entre el cultivo ecológico y el convencional, a pesar de que la producción de MS en las parcelas

ecológicas representó el 73,7 y 67,2% de la observada en las parcelas convencionales en los cortes de mayo y julio, respectivamente. Resultados similares han sido hallados por otros autores (15, 16). Otros autores (17) realizaron una revisión de los resultados disponibles sobre la producción de trigo en condiciones convencionales y ecológicas, y observaron que la producción en condiciones ecológicas se encontraba siempre entre un 20 y un 40% más bajo que la producción obtenida en condiciones convencionales. Los datos obtenidos en este trabajo encajan en este rango, ya que la producción de MS en las parcelas ecológicas fue un 26 y 33% menor que en las convencionales en los cortes de mayo y julio, respectivamente. Algunos autores (15) observaron que la producción de grano de trigo en parcelas cultivadas de forma orgánica representó el 44% de la producción de grano en parcelas con cultivo convencional. En el presente trabajo, la producción de grano en las parcelas ecológicas fue el 57% de la producción en las parcelas convencionales, si bien las diferencias no alcanzaron el nivel de significación estadística ( $P = 0,262$ ; Tabla 3). Asimismo, el porcentaje de paja tendió ( $P = 0,052$ ) a ser mayor en el cultivo ecológico que en el cultivo convencional (51,8 vs. 45,8%).

Tabla 3. Producción de materia seca (MS;t MS/ha) de trigo cultivado en sistemas de cultivo convencional (CON) y ecológico (ECO) (muestreos de mayo y julio de 2009)

Corte	Sistema de cultivo	Producción Trigo <sup>1</sup>					
		Total	PP	PE	PGLU	PGE	PG
<b>Mayo</b>	CON	3,12	-	-	-	-	-
	ECO	2,30	-	-	-	-	-
	EEM <sup>2</sup>	0,477					
	<i>P</i> =	0,294					
<b>Julio</b>	CON	3,08	45,8	54,2	25,4	74,6	1,26
	ECO	2,07	51,8	48,2	26,7	73,3	0,72
	EEM <sup>2</sup>	0,496	1,55	1,55	0,65	0,65	0,291
	<i>P</i> =	0,222	0,052	0,052	0,219	0,219	0,262

<sup>1</sup> PP: porcentaje de paja en la MS producida; PE: porcentaje de espigas en la MS producida; PGLU: porcentaje de glumas en la espiga; PGE: porcentaje de grano en la espiga, PG: producción de grano (t MS/ha).

<sup>2</sup> EEM: error estándar de la media.

En la Tabla 4 se observan los datos de composición química de las muestras obtenidas en los dos cortes realizados. En el corte de mayo se observaron diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) en cuanto al contenido de proteína bruta, siendo mayor en

el cultivo convencional que en el ecológico. En el corte de julio, se observó también un mayor ( $P = 0,007$ ) contenido en proteína bruta en el grano convencional, pero no existieron diferencias ( $P > 0,05$ ) en el contenido en proteína de la paja y las glumas. Unos autores (15) observaron que el cultivo ecológico redujo un 22% el contenido en proteína bruta del grano de trigo y otros (18) observaron una reducción del 24% del contenido de proteína en grano del trigo ecológico, siendo en nuestro estudio la reducción del 29%. Por el contrario, hay autores (19) que observaron que muestras de trigo de cultivo ecológico tenían más proteína que las de cultivo convencional, aunque en este caso se trataba de un análisis de muestras existentes en el mercado, es decir, las muestras de trigo orgánico y convencional no habían sido cultivadas en la misma zona y ello pudo afectar a los resultados.

Tabla 4. Composición química (g/100 g materia seca (MS)) de trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestras de mayo y julio de 2009).

Corte	Muestra	Sistema de cultivo	Composición química <sup>1</sup>					
			MO	PB	FND	FAD	LIG	% LFND
<b>Mayo</b>	Forraje	CON	95,0	6,69	55,8	25,9	4,15	7,43
		ECO	93,8	5,23	56,3	27,8	5,52	9,15
		EEM <sup>2</sup>	0,725	0,108	0,67	0,52	0,626	0,643
		$P =$	0,299	<0,001	0,606	0,063	0,196	0,003
<b>Julio</b>	Paja	CON	93,9	3,62	78,8	41,7	5,21	6,61
		ECO	93,7	2,96	78,1	42,6	7,27	9,32
		EEM <sup>2</sup>	0,69	0,254	0,90	0,38	0,275	0,705
		$P =$	0,853	0,140	0,629	0,193	0,050	0,050
	Glumas	CON	95,0	3,57	79,0	37,5	3,49	4,41
		ECO	95,0	3,09	74,5	34,8	3,25	4,35
		EEM <sup>2</sup>	0,11	0,057	4,95	1,09	0,146	0,080
		$P =$	0,970	0,227	0,226	0,158	0,322	0,624
	Grano	CON	98,4	12,05	16,9	3,64	0,90	5,31
		ECO	98,3	8,56	15,9	3,66	0,84	5,30
		EEM <sup>2</sup>	0,04	0,481	0,29	0,136	0,041	0,247
		$P =$	0,296	0,007	0,072	0,935	0,363	0,971

<sup>1</sup>MO: materia orgánica. PB: proteína bruta. FND: fibra neutro detergente. FAD: fibra ácido detergente. LIG: lignina. LFND: lignina / fibra neutro detergente.

<sup>2</sup>EEM: error estándar de la media.

En ningún corte se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre cultivos en el contenido en FND y FAD. En cuanto al contenido de lignina sólo existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el corte de julio para la paja, con un mayor contenido en el cultivo ecológico. Este contenido mayor en lignina del cultivo ecológico podría ser debido a la existencia de malas hierbas (puesto que no se utilizan herbicidas), cuya presencia se observó al procesar las muestras, si bien su porcentaje no fue determinado. El porcentaje lignina/FND fue mayor ( $P \leq 0,05$ ) en el cultivo ecológico en el forraje recogido en mayo y en la paja recogida en julio. Según estos resultados, puede considerarse que el sistema de cultivo afectó fundamentalmente al contenido en proteína bruta del trigo, y este efecto podría ser debido a un menor contenido en N en el suelo de los cultivos ecológicos, tal y como ha sido señalado por otros autores (20, 21). En la Tabla 5 figuran las características del suelo de las parcelas experimentales tras la recolección de las muestras en julio de 2009. Sin embargo, no hubo diferencias ( $P = 0,277$ ) en el contenido de N entre los dos tipos de parcelas. El método de cultivo tampoco afectó ( $P > 0,05$ ) al pH del suelo ni al contenido en P, K, Fe, Mn y Cu. Las parcelas ecológicas mostraron un menor contenido en Na ( $P = 0,040$ ) y un mayor contenido en Ca ( $P = 0,015$ ), Mg ( $P = 0,007$ ) y Zn ( $P = 0,050$ ) que las parcelas convencionales.

Tabla 5. Características del suelo de las parcelas experimentales cultivadas de forma convencional (CON) y ecológica (ECO) tras la recolección de los cultivos en julio de 2009

Item	CON	ECO	EEM <sup>1</sup>	P =
pH en agua	5,48	5,77	0,102	0,116
pH en KCl	4,44	4,75	0,111	0,115
Nitrógeno (mg/kg)	0,82	0,92	0,054	0,277
Fósforo (mg/kg)	44,9	47,3	1,44	0,294
Contenido en cationes (cmol(+)/kg)				
Sodio	0,043	0,015	0,0066	0,040
Calcio	0,92	1,54	0,108	0,015
Magnesio	0,17	0,26	0,014	0,007
Potasio	0,22	0,29	0,026	0,127
Contenido en oligoelementos (mg/kg)				
Hierro	32,9	54,5	7,59	0,114
Manganeso	11,0	14,2	4,55	0,646
Cobre	0,32	0,50	0,055	0,083
Zinc	0,89	1,45	0,014	0,050

<sup>1</sup>EEM: error estándar de la media.

En la Tabla 6 figuran los datos correspondientes a la cinética de producción de gas de las muestras obtenidas. No se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre cultivos en ninguno de los parámetros analizados, excepto en el tiempo de retraso (*lag*), que en el caso de la paja y las glumas fue mayor ( $P = 0,001$  y  $0,019$ , respectivamente) en el cultivo convencional que en el ecológico. Sin embargo, estas diferencias podrían ser debidas al ajuste de los datos al modelo matemático utilizado y no tener ningún significado biológico. La ausencia de diferencias en la mayoría de los parámetros indicaría que el tipo de cultivo no afectó a la cinética de degradación ruminal de los cultivos.

La ausencia de diferencias en la cinética de degradación ruminal de las muestras debida al tipo de cultivos está en concordancia con los resultados obtenidos para la digestibilidad *in vitro* de las muestras. Como puede observarse en la Tabla 7, el sistema de cultivo no afectó ( $P > 0,05$ ) a la DMS, DVMS ni a la DFND en ninguno de los cortes.

Tabla 6. Parámetros de la cinética de producción de gas del trigo cultivado de forma convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestreos de mayo y julio de 2009)

Corte y tipo de muestra	Sistema de cultivo	Producción Gas <sup>1</sup>					
		A	<i>c</i>	<i>Lag</i>	RMPG	DEMO	TM
<b>Mayo</b>							
	CON	321	0,0346	0,17	7,94	35,8	21,0
	ECO	316	0,0348	0,13	7,90	34,8	21,9
	EEM <sup>2</sup>	8,9	0,00080	0,079	0,150	0,39	0,28
	<i>P</i> =	0,701	0,506	0,747	0,500	0,091	0,085
<b>Julio</b>							
Paja	CON	292	0,0258	5,38	4,52	21,4	32,4
	ECO	293	0,0243	3,33	4,62	21,3	31,9
	EEM <sup>2</sup>	2,0	0,00053	0,378	0,267	0,29	0,53
	<i>P</i> =	0,612	0,059	0,001	0,443	0,820	0,533
Grano	CON	420	0,0630	0,00	10,9	43,0	19,3
	ECO	420	0,0373	0,00	11,3	44,2	18,7
	EEM <sup>2</sup>	5,1	0,01830	-	0,27	0,50	0,33
	<i>P</i> =	0,993	0,333	-	0,345	0,118	0,218
Glumas	CON	353	0,0210	2,55	4,93	22,7	35,9
	ECO	352	0,0208	1,35	5,08	23,2	35,0
	EEM <sup>2</sup>	3,4	0,00059	0,329	0,131	0,56	0,88
	<i>P</i> =	0,935	0,836	0,019	0,446	0,526	0,472

<sup>1</sup>A: producción potencial de gas (mL); *c*: ritmo de producción de gas (h<sup>-1</sup>); *Lag*: tiempo de retraso (h); RMPG: ritmo medio de producción de gas (mL/h); DEMO: degradabilidad efectiva de la materia orgánica para un ritmo de paso de 0,04/h (%); TM: tiempo que tarda en alcanzarse el 50% de la producción potencial de gas (h).  
<sup>2</sup>EEM: error estándar de la media.

Tabla 7. Digestibilidad *in vitro* de muestras de trigo cultivado de forma convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestreos de mayo y julio de 2009)

Corte	Muestra	Sistema de cultivo	Digestibilidad <i>in vitro</i> <sup>1</sup>		
			DMS	DVMS	DFND
<b>Mayo</b>	Forraje	CON	70,2	74,5	54,3
		ECO	67,8	73,3	52,5
		EEM <sup>2</sup>	0,85	0,67	0,84
		<i>P</i> =	0,111	0,260	0,215
<b>Julio</b>	Paja	CON	42,3	48,9	35,2
		ECO	42,2	49,2	34,9
		EEM <sup>2</sup>	1,18	1,10	1,38
		<i>P</i> =	0,970	0,885	0,888
	Grano	CON	89,6	92,3	55,3
		ECO	89,9	92,4	52,3
		EEM <sup>2</sup>	0,40	0,21	1,49
		<i>P</i> =	0,679	0,623	0,233
	Glumas	CON	50,2	56,3	44,7
		ECO	52,8	58,7	44,5
		EEM <sup>2</sup>	1,00	1,24	0,94
		<i>P</i> =	0,138	0,2385	0,932

<sup>1</sup>DMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%). DVMS: digestibilidad *in vitro* verdadera de la materia seca (%). DFND: digestibilidad *in vitro* de la fibra neutro detergente (%).

<sup>2</sup>EEM: error estándar de la media.

En la Tabla 8 se muestran los valores de los parámetros ruminales determinados tras la incubación de las muestras con líquido ruminal durante 24 horas. Las muestras de grano y glumas de cultivo convencional produjeron una mayor ( $P < 0,001$  y  $P = 0,008$ ) concentración de amoníaco que las muestras cultivadas de forma ecológica, lo que coincide con el mayor contenido en proteína bruta observado en las muestras de cultivo convencional. La mayor ( $P < 0,05$ ) proporción de AGV minoritarios (calculados como la suma de los ácidos isobutírico, isovalérico y valérico) observada en el grano

y glumas de cultivo convencional también se debería al mayor contenido en proteína bruta de estas muestras, ya que algunos de estos ácidos minoritarios se producen como consecuencia de la degradación de algunos aminoácidos de cadena ramificada.

Tabla 8. Concentración de amoníaco, pH final y producción de ácidos grasos volátiles (AGV) tras la incubación de muestras de trigo cultivado de forma convencional (CON) y ecológica (ECO) con líquido ruminal durante 24 horas<sup>1</sup> (muestras de mayo y julio de 2009)

Corte y tipo de muestra	Sistema de cultivo	Amo	pH	Total AGV	Proporción molar (mol/100 mol)				
					Ac	Pr	Bt	Otr	Ac/Pr
<b>Mayo</b>									
	CON	264	6,69	2792	61,7	26,5	10,2	1,56	2,34
	ECO	256	6,71	2746	62,0	26,2	10,2	1,51	2,38
	EEM <sup>2</sup>	4,1	0,004	35,7	0,48	0,25	0,21	0,080	0,040
	<i>P</i> =	0,184	0,113	0,373	0,654	0,415	0,871	0,659	0,529
<b>Julio</b>									
Paja	CON	274	6,64	1450	69,1	20,4	7,10	3,35	3,40
	ECO	267	6,64	1383	70,4	19,0	7,28	3,25	3,72
	EEM <sup>2</sup>	3,3	0,009	51,5	0,25	0,23	0,055	0,066	0,054
	<i>P</i> =	0,181	0,587	0,367	0,002	0,001	0,030	0,266	0,001
Grano	CON	275	6,36	3381	56,6	23,8	16,0	3,62	2,46
	ECO	209	6,32	3367	56,9	24,2	16,0	2,86	2,46
	EEM <sup>2</sup>	4,8	0,010	53,6	0,28	0,32	0,43	0,061	0,036
	<i>P</i> =	<0,001	0,023	0,855	0,351	0,428	0,999	<0,001	0,974
Glumas	CON	269	6,63	1630	71,6	18,4	7,55	2,50	3,91
	ECO	259	6,62	1663	70,6	18,2	8,40	2,34	3,90
	EEM <sup>2</sup>	2,5	0,010	59,9	0,53	0,13	0,166	0,043	0,058
	<i>P</i> =	0,008	0,491	0,699	0,220	0,390	0,002	0,014	0,897

<sup>1</sup> Amo: concentración de amoníaco (mg/L); AGV: producción total de AGV ( $\mu$ mol); Ac: porcentaje molar de ácido acético; Pr: porcentaje molar de ácido propiónico; Bt: porcentaje molar de ácido butírico; Otr: porcentaje molar de otros AGV, calculado como la suma de los ácidos isobutírico, isovalérico y valérico. Ac/Pr: acético/propiónico (mol/mol).

<sup>2</sup> EEM: error estándar de la media.

En cuanto a la producción total de AGV, no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre cultivos en ninguno de los cortes. En el corte de julio no se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) en las proporciones molares de los diferentes AGV. Las muestras de paja de cultivo ecológico produjeron una mayor ( $P < 0,05$ ) proporción de acético y butírico y una menor ( $P = 0,001$ ) proporción de ácido propiónico que las muestras cul-

tivadas de forma tradicional, lo que resultó en una mayor ( $P = 0,001$ ) relación acético/propiónico en las muestras ecológicas. En el caso de las glumas también se observó una mayor proporción de ácido butírico ( $P = 0,002$ ) en las muestras ecológicas, lo que podría indicar que tanto la paja como las glumas de cultivo ecológico favorecieron la proliferación de las bacterias productoras de ácido butírico.

En la Tabla 9 y 10 figuran los resultados relativos a la producción de materia seca y a la composición química de las muestras obtenidas en el corte realizado en mayo y julio de 2010. En el corte de mayo el sistema de cultivo ecológico redujo significativamente ( $P < 0,05$ ) la producción de MS al 66% en los valores observados en el cultivo convencional el trigo. El trigo cultivado en condiciones ecológicas únicamente presentó un menor ( $P > 0,001$ ) contenido en PB, sin que se detectaran otras diferencias en su composición química.

Tabla 9. Producción total de materia seca (MS; t MS/ha) y producción de paja y grano de trigo cultivado en sistemas de producción convencional y ecológica (muestras de mayo y julio de 2010)

Corte	Sistema de cultivo	Total	Paja	Grano	% Grano
<b>Mayo</b>	CON	4,21			
	ECO	2,77			
	EEM <sup>1</sup>	0,21			
	$P =$	0,049			
<b>Julio</b>	CON	5,62	3,90	0,70	15,4
	ECO	4,04	2,96	0,42	13,2
	EEM <sup>1</sup>	0,301	0,261	0,051	0,762
	$P =$	0,031	0,045	0,042	0,141

<sup>1</sup> error estándar de la media.

Tabla 10. Composición química (g/100 materia seca) de trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestras de mayo y julio de 2010)

Corte	Sistema de cultivo	Composición química <sup>1</sup>						
		MO	PB	FND	FAD	LIG	% LFND	
<b>Mayo</b>	CON	94,9	7,31	54,2	29,6	3,17	5,83	
	ECO	93,2	6,57	51,9	28,3	3,02	5,81	
	EEM <sup>2</sup>	0,655	0,169	0,79	0,82	0,759	0,751	
	<i>P</i> =	0,312	<0,001	0,206	0,463	0,231	0,895	
<b>Julio</b>	Paja	CON	95,0	4,77	69,5	40,0	1,85	7,96
		ECO	94,3	4,14	70,8	41,1	2,04	8,63
		EEM <sup>2</sup>	0,32	0,131	0,41	0,45	0,198	0,311
		<i>P</i> =	0,586	0,031	0,431	0,347	0,343	0,584
	Grano	CON	98,2	11,7	19,9	3,17	0,19	2,86
		ECO	98,3	8,72	17,9	2,89	0,15	2,68
		EEM <sup>2</sup>	0,16	0,071	0,16	0,35	0,012	0,121
		<i>P</i> =	0,595	0,024	0,013	0,327	0,432	0,614

<sup>1</sup>MO: materia orgánica. PB: proteína bruta. FND: fibra neutro detergente. FAD: fibra ácido detergente. LIG: lignina. LFND: lignina / fibra neutro detergente.

<sup>2</sup> error estándar de la media.

En la Tabla 9 figuran los resultados relativos a la producción total de materia seca y producción de paja y grano en el corte de julio de 2010. El sistema de cultivo ecológico redujo la producción total de MS al 72% de los valores observados en el cultivo convencional para el trigo, y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ). La producción de paja fue menor ( $P < 0,05$ ) en el cultivo convencional que en el ecológico. En lo que se refiere a la producción de grano, fue mayor en el cultivo convencional ( $P < 0,05$ ).

Como se puede observar en la Tabla 10, en general se observaron pocos efectos del método de cultivo sobre la composición química en el corte de julio. El cultivo convencional produjo paja y grano con mayores contenidos en PB ( $P = 0,031$  y  $0,024$ , respectivamente) que el cultivo ecológico. También se observó un aumento del contenido en FND en el grano del cultivo convencional frente al ecológico ( $P = 0,013$ ). No se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en cuanto al método de cultivo respecto a la FAD y la Lignina.

Tabla 11. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DMS; %) y digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca (DVMS; %) de trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestreo de mayo de 2010)

Corte	Sistema de cultivo	DMS	DVMS
<b>Mayo</b>	CON	77,5	80,7
	ECO	76,2	79,7
	EEM <sup>1</sup>	0,67	0,32
	<i>P</i> =	0,232	0,321

<sup>1</sup> error estándar de la media.

En la Tabla 11 se muestran los resultados relativos a la digestibilidad *in vitro* de los cultivos forrajeros. No se observaron diferencias ( $P > 0,05$ ) entre sistemas de cultivo en la DMS y la DVMS.

Tabla 12. Valores de pH, concentración de amoníaco (mg/L) y producción de ácidos grasos volátiles (AGV;  $\mu\text{mol}$ ) tras la incubación *in vitro* de muestras trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) con fluido ruminal durante 24 horas (muestreo de mayo de 2010)

Corte	Sistema de cultivo	pH	Amo	Total AGV	Proporciones molares <sup>1</sup>			
					Ac	Pr	Bt	Otros AGV
<b>Mayo</b>	CON	6,60	264	2821	62,6	24,1	9,18	4,11
	ECO	6,62	273	2746	62,2	24,7	9,36	3,74
	EEM <sup>2</sup>	0,003	2,1	32,7	0,51	0,28	0,28	0,051
	<i>P</i> =	0,213	0,044	0,413	0,605	0,365	0,774	0,049

<sup>1</sup> Ac: porcentaje molar de ácido acético; Pr: porcentaje molar de ácido propiónico; Bt: porcentaje molar de ácido butírico; Otr: porcentaje molar de otros AGV, calculado como la suma de los ácidos isobutírico, isovalérico y valérico.

<sup>2</sup> error estándar de la media

Tal y como puede observarse en la Tabla 12, el sistema de cultivo no afectó ( $P > 0,05$ ) al pH final de las incubaciones *in vitro* realizadas y la concentración de amoníaco se vio afectada, siendo superior ( $P = 0,44$ ) para el trigo de cultivo ecológico que para el convencional. No se observaron diferencias ( $P < 0,05$ ) debido al tipo de cultivo ni en la producción total de AGV ni en la proporción molar de los ácidos acético, propiónico y butírico. En lo que se refiere a otros AGV (calculados como la suma de isobutírico, isovalérico y valérico), la proporción de AGV minoritarios fue mayor ( $P = 0,049$ ) para el trigo de cultivo convencional que para el ecológico. Este

hecho pudo ser debido a la mayor concentración de PB observada en el trigo de cultivo convencional.

Tabla 13. Producción total de material seca (MS; t MS/ha) y composición química (g/100 materia seca) de trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestreo de mayo de 2011)

Corte	Sistema de cultivo	Producción de MS	Composición química <sup>1</sup>					
			MO	PB	FND	FAD	LIG	% LFND
<b>Mayo</b>	CON	5,08	93,65	7,04	57,80	30,85	5,08	8,78
	ECO	3,73	93,86	5,45	57,73	30,80	4,83	8,36
	EEM <sup>2</sup>	0,568	0,344	0,394	0,419	0,551	0,376	0,637
	<i>P</i> =	0,024	0,688	0,046	0,933	0,952	0,659	0,663

<sup>1</sup>MO: materia orgánica. PB: proteína bruta. FND: fibra neutro detergente. FAD: fibra ácido detergente. LIG: lignina. LFND: lignina / fibra neutro detergente.

<sup>2</sup> error estándar de la media.

En el último año de muestreo como muestra la Tabla 13 la producción de materia seca fue un 35% mayor ( $P = 0,024$ ) en el cultivo convencional frente al ecológico. El contenido de PB al igual que en los otros dos años disminuyó en el trigo cultivado de forma ecológica frente al cultivado de manera convencional ( $P = 0,046$ ). Respecto al resto de parámetros de la composición química de las muestras no hubo diferencias significativas en cuanto a la manera de cultivar este cereal.

Tabla 14. Digestibilidad in vitro de la materia seca (DMS; %), digestibilidad verdadera in vitro de la materia seca (DVMS; %) y digestibilidad in vitro de la fibra neutro detergente (DFND, %) de trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) (muestreo de mayo de 2011)

Corte	Sistema de cultivo	DMS	DVMS	DFND
<b>Mayo</b>	CON	72,74	76,06	58,63
	ECO	72,35	75,61	57,75
	EEM <sup>1</sup>	1,538	1,399	2,298
	<i>P</i> =	0,868	0,833	0,799

<sup>1</sup> error estándar de la media.

En la Tabla 14 podemos observar los parámetros relativos a la digestibilidad *in vitro* del trigo, cultivado de manera convencional y ecológica, en los que no se observaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ).

Tabla 15. Valores de pH, concentración de amoníaco (mg/L) y producción de ácidos grasos volátiles (AGV;  $\mu\text{mol}$ ) tras la incubación *in vitro* de muestras trigo cultivado en sistemas de producción convencional (CON) y ecológica (ECO) con fluido ruminal durante 24 horas (muestreo de mayo de 2011)

Corte	Sistema de cultivo	pH	Amo	Total AGV	Proporciones molares <sup>1</sup>				
					Ac	Pr	Bt	Otros AGV	Ac/Pr
<b>Mayo</b>	CON	6,64	175,33	2488	69,40	22,07	6,65	1,88	3,15
	ECO	6,84	178,63	2314	66,62	24,93	6,87	1,57	2,67
	EEM <sup>2</sup>	0,039	6,951	58,9	0,309	0,279	0,186	0,135	0,052
	<i>P</i> =	0,1852	<0,0001	0,870	0,167	0,761	0,441	<0,0001	0,841

<sup>1</sup> Ac: porcentaje molar de ácido acético; Pr: porcentaje molar de ácido propiónico; Bt: porcentaje molar de ácido butírico; Otr: porcentaje molar de otros AGV, calculado como la suma de los ácidos isobutírico, isovalérico y valérico. Ac/Pr: acético/propiónico (mol/mol).

<sup>2</sup> error estándar de la media

Acorde con la Tabla 15 el sistema de cultivo no modificó el pH final de las incubaciones, pero la concentración de amoníaco aumentó utilizando como sustrato trigo cultivado de manera ecológica frente al convencional ( $P < 0,0001$ ). Respecto a la producción total de AGV, esta no se vio afectada por el sistema de cultivo utilizado, ni se vieron afectadas las proporciones molares de acético, propiónico y butírico, y ni la relación acético/propiónico. Pero lo que si se observó fue una mayor cantidad de los AGV minoritarios (calculados como la suma de isobutírico, isovalérico y valérico) cuando se incubaron los botes utilizando como sustrato el trigo cultivado de manera convencional frente al ecológico ( $P < 0,0001$ ).

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que, en las condiciones en las que se realizó el estudio:

1ª En los tres años de muestreo la producción de materia seca del cultivo convencional fue mayor que la obtenida del cultivo ecológico.

2ª El contenido de proteína en el forraje en los tres años, en el grano en los dos primeros años y en la paja del segundo año, obtenidos en el cultivo convencional fue mayor que en el cultivo ecológico.

3ª No se observaron diferencias significativas en el contenido en fibra en el primer año y el tercer año pero si hubo un aumento de fibra neutro detergente en el grano convencional respecto al ecológico en el segundo año.

4ª La degradación ruminal *in vitro* del forraje, grano y paja no se vio afectada por el tipo de manejo al que se vio sometido cada cultivo.

5ª Respecto a los parámetros ruminales únicamente se observaron diferencias en la concentración de amoníaco, que fue mayor cuando se incubaron muestras de glumas y grano de trigo convencional que cuando se incubaron las muestras cultivadas de forma ecológica, sin embargo, en el segundo y tercer año de muestreo se produjo un aumento en la concentración de amoníaco en el trigo ecológico frente al convencional.

6ª Una mejora en la fertilización nitrogenada de los cultivos ecológicos podría mejorar tanto la productividad como el contenido en proteína del forraje y grano de trigo.

7ª A la vista de los resultados obtenidos sería conveniente realizar una valoración nutritiva cuando se utiliza trigo producido en condiciones ecológicas en la alimentación animal.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de este estudio por parte de la Junta de Castilla y León (Proyecto LE19A08). Los autores desean agradecer especialmente a Alonso Santos de Pedro la cesión de las parcelas de su explotación para el desarrollo del estudio.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lacasta Dutoit, C. and R. Meco. 2008. Productividad energética de cultivos herbáceos, estudio comparativo de manejos de agriculturas convencional, de conservación y ecológica. Actas del VIII CONGRESO SEAE sobre "Cambio Climático, Biodiversidad y Desarrollo Rural Sostenible". IV Congreso Iberoamericano Agroecología y II Encuentro Internacional de Estudiantes de Agroecología y Ciencias Afines. Bullas, Murcia.

2. Pardo, G., J. Aibar, J. Cavero and C. Zaragoza. 2009. Economic evaluation of cereal cropping systems under semiarid conditions: Minimum input, organic and conventional. *Scientia Agricola* 66: 615-621.
3. FiBL/IFOAM. 2013. Accesible en <http://www.organic-world.net/>. Consultado en octubre de 2013.
4. MAGRAMA. 2013. La agricultura ecológica en España 2013. Accesible en <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/default.aspx>. Consultado en octubre de 2013.
5. MAGRAMA. 2013. Agricultura ecológica estadísticas 2012. Accesible en [http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Estadisticas\\_AE\\_2012\\_ok\\_tcm7-297880.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Estadisticas_AE_2012_ok_tcm7-297880.pdf). Consultado en octubre de 2013.
6. McCoy, S. 2000. Organic wheat - production system guidelines. Accesible en [http://www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported\\_assets/content/fcp/cer/wh/cp/fl3700.pdf](http://www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/fcp/cer/wh/cp/fl3700.pdf). Consultado en mayo de 2010.
7. González, V. 2007. Organic Farming in Spain. 2007. In: The Organic Europe Homepage [www.organic-europe.net](http://www.organic-europe.net), FiBL, CH-Frick.
8. AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. 16th ed., 5th rev. ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Gaithersburg, MD, USA.
9. Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular 939. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.
10. Ross, G.J. and C. Wang. 1993. Extractable Al, Fe, Mn, and Si. pp. 239-246. In: M.R. Carter (ed.). Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publ., Boca Raton, FL, USA.
11. Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
12. ANKOM. 1998. Procedures for fibre and in vitro analysis. Accesible en [www.ankom.com](http://www.ankom.com).
13. Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses: Apparatus, Reagents, Procedures, and some Applications. In: *Agriculture Handbook*. Agricultural Research Service, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, DC, USA.
14. Weatherburn, M. W. 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.* 39: 971-974.
15. Mazzoncini M., P. Belloni, R. Risaliti and D. Antichi. 2007. Organic Vs Conventional winter wheat quality and organoleptic bread test. Proceedings of the 3rd Qlif Congress: 135-138.
16. Cavigelli, M. A., J. R. Teasdale and A. E. Conklin. 2008. Long-term agronomic performance of organic and conventional field crops in the mid-atlantic region. *Agron. J.* 100: 785-794.
17. Tamm, L., U. Köpke, Y. Cohen. and C.L. Tamm. 2007. Development of strategies to improve quality and safety and reduce cost of production in organic and 'low input' crop production systems. Proceedings of the 3rd QLIF Congress: 151 - 154. Hohenheim, Germany.
18. Ceseviciene, J., A. Slepetiene, A. Leistrumaitė, V. Ruzgas, and J. Slepetyš. 2012. Effects of organic and conventional production systems and cultivars on the technological properties of winter wheat. *J. Sci. Food Agric.* 92(14): 2811-2818.
19. Entisne, M., C. Palacios, S. Álvarez, A. M. Vivar-Quintana and I. Revilla. 2008. Efecto del sistema de producción ecológico vs. convencional sobre la composición de las materias primas utilizadas como suplemento alimenticio en explotaciones de ovino de doble aptitud. Actas del VIII CONGRESO SEAE sobre "Cambio Climático, Biodiversidad y Desarrollo Rural Sostenible". IV Congreso Iberoamericano Agroecología y II Encuentro Internacional de Estudiantes de Agroecología y Ciencias Afines. Bullas, Murcia.

20. Berry, P.M., R. Sylvester-Bradley, L. Philipps, D. J. Hatch, S. P. Cuttle, F. W. Rayns and P. Goslin, 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply available nitrogen? *Soil Use Manage*, 18: 248-255.
21. Casagrande, M., C. David, M. Valantin-Morison, D. Makowski and M. H. Jeuffroy. 2009. Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach. *Agron. Sustain. Dev.* 29. p. 565-574.