



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Efecto de la inclusión de bagazo de cerveza en dietas de
cerdos sobre las emisiones de metano del purín

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Jabaloyas Ivorra, Alejandro

Tutor/a: Calvet Sanz, Salvador

Director/a Experimental: PIQUER MOLINA, LAIA

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Efecto de la inclusión de bagazo de cerveza en dietas de
cerdos sobre las emisiones de metano del purín

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR: Jabaloyas Ivorra, Alejandro

Tutor: Calvet Sanz, Salvador

Directora Experimental: Piquer Molina, Laia

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Valencia, septiembre 2022

Efecto de la inclusión de bagazo de cerveza en dietas de cerdos sobre las emisiones de metano del purín

Resumen

La producción ganadera intensiva permite cubrir la alta demanda de productos cárnicos, pero genera unos impactos ambientales que es necesario controlar. Para mitigar estos impactos ambientales este trabajo plantea el uso de subproductos procedentes de la industria agroalimentaria, concretamente evalúa cómo afecta la inclusión de bagazo de cerveza a los purines producidos y a sus emisiones de metano. Este bagazo se ha incluido en la alimentación de 35 animales separados en 5 tratamientos (7 animales por tratamiento). Para el bagazo de cerveza se utilizaron dos tipos de secado (biomasa o energía solar), a dos porcentajes de inclusión (15% y 30%). Una vez implementadas las diferentes dietas se recogieron las muestras de orina y heces por separado. Estas muestras fueron analizadas en laboratorio para obtener los resultados de composición del purín y producción potencial de metano. Estos resultados indican que el tipo de desecado no afectó a la excreción de purín ni a la emisión potencial de metano, expresada como cantidad de metano emitida por cada gramo de materia orgánica. En cambio, el nivel de inclusión de bagazo sí que afectó al balance de energía del animal, aumentando la excreción de materia orgánica y la emisión de metano por animal y día.

Palabras clave: Biogás; bagazo de cerveza; emisiones; mitigación; biodegradabilidad.

Resum

La producció ramadera intensiva permet cobrir l'alta demanda de productes carnis, però genera uns impactes ambientals que és necessari controlar. Per a mitigar aquests impactes ambientals aquest treball planteja l'ús de subproductes procedents de la indústria agroalimentària, concretament avalua com afecta la inclusió de bagàs de cervesa als purins produïts i a les seues emissions de metà. Aquest bagàs s'ha inclòs en l'alimentació de 35 animals separats en 5 tractaments (7 animals per tractament). Per al bagàs de cervesa es van utilitzar dos tipus d'assecat (biomassa o energia solar), a dos percentatges d'inclusió (15% i 30%). Una vegada implementades les diferents dietes es van recollir les mostres d'orina i femta per separat. Aquestes mostres van ser analitzades en laboratori per a obtindre els resultats de composició del purí i producció potencial de metà. Aquests resultats indiquen que el tipus de dessecat no va afectar l'excreció de purí ni a l'emissió potencial de metà,

expressada com a quantitat de metà emesa per cada gram de matèria orgànica. En canvi, el nivell d'inclusió de bagàs sí que afecta el balanç d'energia de l'animal, augmentant l'excreció de matèria orgànica i l'emissió de metà per animal i dia.

Paraules clau: Biogàs; bagàs de cervesa; emissions; mitigació; biodegradabilitat.

Abstract

Intensive livestock production makes it possible to meet the high demand for meat products, but generates environmental impacts that need to be controlled. To mitigate these environmental impacts, this work proposes the use of by-products from the agri-food industry, specifically evaluating how the inclusion of beer bagasse affects the slurry produced and its methane emissions. This bagasse was included in the feed of 35 animals separated into 5 treatments (7 animals per treatment). Two types of drying (biomass or solar energy) were used for the beer bagasse, at two inclusion percentages (15% and 30%). Once the different diets were implemented, urine and feces samples were collected separately. These samples were analyzed in the laboratory to obtain the results of slurry composition and potential methane production. These results indicate that the type of drying did not affect slurry excretion or potential methane emission, expressed as the amount of methane emitted per gram of organic matter. On the other hand, the level of bagasse inclusion did affect the animal's energy balance, increasing organic matter excretion and methane emission per animal per day.

Key words: Biogas; brewery waste; emissions; mitigation; biodegradability.

AUTOR: Jabaloyas Ivorra, Alejandro

Tutor: Calvet Sanz, Salvador

Directora Experimental: Piquer Molina, Laia

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Valencia, septiembre 2022

Índice de contenidos

1. Introducción.....	II
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Importancia del sector porcino	1
1.3. Implicación ambiental	2
1.3.1. Visión general de los impactos ambientales.....	2
1.3.2. Emisión de metano	3
1.4. Consumo de materias primas.....	5
1.4.1. Visión general en el consumo de materias primas	5
1.4.2. Uso de subproductos en la elaboración de piensos	6
1.4.3. Evaluación ambiental y productiva.....	8
2. Objetivos	9
3. Metodología	10
3.1. Animales utilizados e instalaciones.....	10
3.2. Tratamientos ensayados.....	11
3.3. Obtención de las muestras y análisis químicos.....	13
3.4. Determinación del potencial de metano	14
3.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico.....	15
4. Resultados.....	17
4.1. Ingesta de pienso	17
4.2. Heces generadas	18
4.3. Orina generada	20
4.4. Purín generado.....	21
4.5. Potencial de metano	23
5. Discusión	25
6. Conclusiones.....	27
7. Bibliografía	28

Índice de figuras

Figura 1: Producción de carne de cerdo en la Unión Europea (Elaboración propia a partir de EUROSTAT, 2021)	2
Figura 2: Evolución de la concentración de metano (NOAA, 2022).....	5
Figura 3. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre la ingesta de energía por animal y día. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.	17
Figura 4. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con las heces excretadas. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.....	19
Figura 5. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con la orina excretada. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.....	21
Figura 6. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con el purín excretado. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.....	22
Figura 7. Potencial de producción de biogás para cada tratamiento.	23
Figura 8. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con la emisión de metano y el balance de energía. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.....	24

Índice de tablas

Tabla 1: Valores nutricionales del bagazo de cerveza. Fuente: FEDNA (2022).....	7
Tabla 2: Dietas utilizadas en el estudio de la inclusión de cebadilla en las dietas de cerdos:	11
Tabla 3. Composición de los bagazos empleados en el ensayo. Las unidades están indicadas como % sobre materia seca, salvo que se indique lo contrario entre paréntesis.	12
Tabla 4. Ingredientes y sus cantidades (porcentajes) en las distintas dietas.....	12
Tabla 5. Resultados de los análisis para las diferentes dietas utilizadas en cada tratamiento. La composición se indica sobre materia seca, salvo en los componentes en los que se indiquen otras unidades entre paréntesis	13
Tabla 6. Cantidad y composición del pienso según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.....	17
Tabla 7. Cantidad y composición de las heces según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.....	18
Tabla 8. Cantidad y composición de la orina según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.....	20
Tabla 9: Cantidad y composición del purín según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.....	22
Tabla 10. Cantidad de metano emitido según el tratamiento utilizado y porcentaje de emisión respecto a la energía ingerida y excretada. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.....	24

1. Introducción

1.1. Antecedentes

La población mundial es de unos 7900 millones de personas y para los próximos años se prevé un incremento con una tasa anual del 1% (Naciones Unidas, 2022). Esta cantidad de población implica una gran demanda de alimentos en general, y entre ellos de productos de origen animal (FAO, 2022). La producción ganadera desempeña, pues, un papel fundamental en la seguridad alimentaria global.

La producción porcina es el principal sector cárnico a nivel mundial y tiene una gran importancia económica en nuestro país. Esta producción se realiza principalmente en sistemas de producción intensiva. Estos logran una gran eficiencia productiva, pero tienen importantes impactos ambientales debido al gran volumen de producción concentrado en determinadas zonas. Entre estos impactos destacan la producción de purines, la emisión de amoníaco y gases efecto invernadero y el elevado consumo de materias primas.

Es fundamental encontrar alternativas más sostenibles a la producción animal, que permitan mantener la necesaria producción minimizando sus impactos ambientales. Ello pasa por reciclar materias primas de la industria agroalimentaria y reducir la producción de purines y las emisiones procedentes de los mismos. En este trabajo se evalúa cómo afecta utilizar el bagazo de cerveza como ingrediente de los piensos en la emisión de metano procedente del purín.

1.2. Importancia del sector porcino

La carne proveniente del cerdo es la principal fuente de carne en el mundo. En el año 2020 se produjeron 109,2 millones de toneladas de carne de cerdo a nivel mundial (FAO, 2020). Esta producción de carne porcina tan grande se ha llevado a cabo gracias al crecimiento e intensificación del sector a lo largo de las últimas décadas. Esta intensificación ha traído consigo unas modificaciones en los sistemas de alojamiento, manejos de animales y modelos de alimentación, así como la gestión de los purines que genera este sector. La importancia del sector porcino comprende una gran variedad de actividades económicas, no solo las relacionadas con la cría del cerdo para el consumo humano, sino que también tiene relación con otros sectores relevantes: piel, cosméticos, farmacológico, investigación, etc.

La Unión Europea es el segundo productor mundial de carne de porcino, solo superado por China. Individualmente, España es la tercera potencia productora (MAPA, 2020), mientras que, a nivel europeo, España se encuentra en el primer lugar con un 27% en producción con unas 5180 toneladas (Figura 1). Durante estos últimos años el sector porcino ha aumentado notablemente, tanto en cantidades de carne producidas como en censos. En la actualidad, el sector porcino genera 8655 millones de euros y representa el 42,5% de la producción final ganadera y el 15,9% de la producción final agraria, lo cual demuestra la magnitud económica del sector (MAPA, 2020).

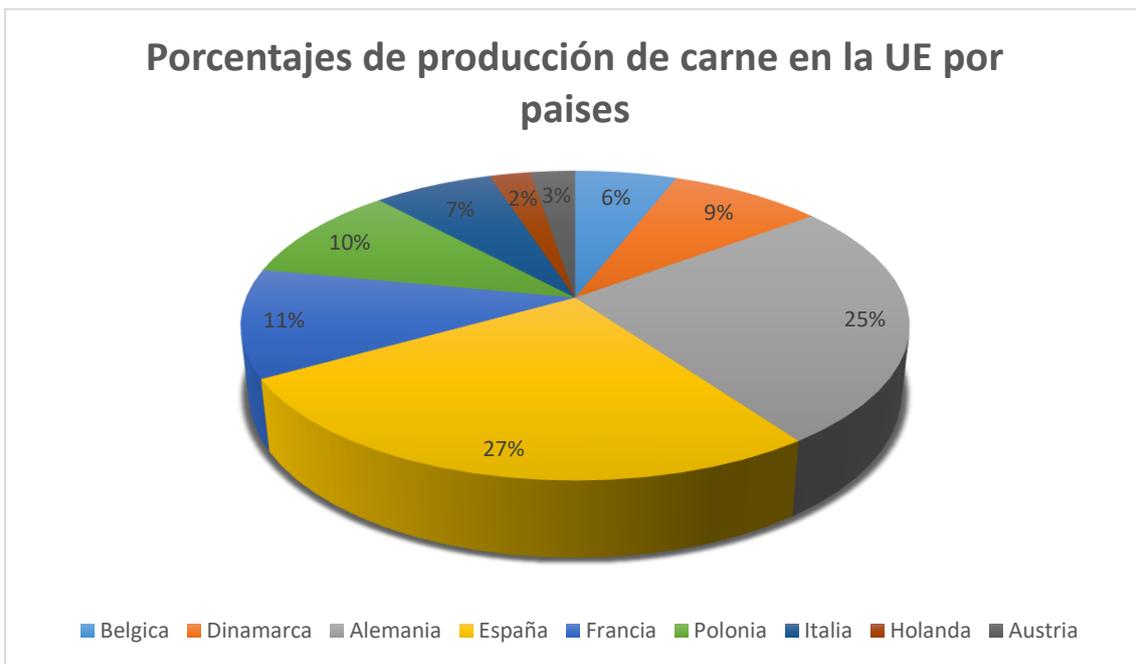


Figura 1: Producción de carne de cerdo en la Unión Europea (Elaboración propia a partir de EUROSTAT, 2021)

1.3. Implicación ambiental

1.3.1. Visión general de los impactos ambientales

La intensificación en la producción porcina origina una concentración de la producción de animales, desligada del territorio tanto para suministrar sus alimentos como para gestionar sus deyecciones. En este contexto, es imprescindible tener en cuenta los efectos ambientales de dicha concentración productiva. La producción de purines está considerada como el principal impacto ambiental directo del sector porcino. Sin embargo, también es preciso prestar atención

al impacto ambiental que causa el consumo de materias primas y el consecuente uso del suelo por parte del sector (FAO, 2022).

Respecto a esto, atendiendo a la producción media de purines indicada en el R.D. 306/2020 y considerando los más de 30 millones de plazas de cerdos a nivel nacional, se estima que en España se genera una cantidad aproximada de 50 millones de metros cúbicos de purín anual. La gestión de estos purines constituye uno de los principales riesgos ambientales en cuanto a contaminación y emisión de gases de efecto invernadero.

Los principales gases que contribuyen al efecto invernadero según el protocolo de Kyoto son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) (IPPC, 2007). De estos, el CH₄ es el principal gas procedente de la gestión de los purines.

Además de los gases efecto invernadero, la gestión de los purines emite grandes cantidades de amoníaco (NH₃) que afectan a los ecosistemas naturales causando procesos de acidificación de suelos y eutrofización de aguas subterráneas (Antezana et al., 2016). En España, cerca del 70% de las emisiones de amoníaco están relacionadas con la actividad ganadera, tanto por las emisiones en la propia granja como por las aplicaciones de estiércoles en el campo (MITECO, 2019).

En el siguiente apartado se desarrolla en detalle la importancia y el origen de las emisiones de metano, que son el eje central del presente trabajo.

1.3.2. Emisión de metano

El metano es el hidrocarburo saturado de cadena más corta que existe. Su fórmula química es CH₄, en la que cada uno de los átomos de hidrógeno está unido a un átomo de carbono a través de un enlace covalente. Es una sustancia incolora y no polar, que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias, y se caracteriza por su baja solubilidad en fase líquida y su persistencia en la atmósfera de aproximadamente una década (MITECO, 2022).

El metano se produce en situaciones de presencia de materia orgánica y ausencia de oxígeno. En producción animal, estas situaciones se producen en el almacenamiento de los purines, y también en la fermentación entérica en el tracto digestivo de los animales (Estellés et al., 2008). A continuación, se exponen las dos fuentes principales emisoras de metano en la ganadería.

Fermentación entérica: El ganado emite CH₄ como consecuencia de la fermentación de los alimentos en el tracto digestivo. Este gas se emite como subproducto de la fermentación

microbiana de los hidratos de carbono, proteínas, grasa, etc. Fundamentalmente en el rumen, pero también en el intestino grueso. Mediante esta fermentación, estos compuestos son degradados a ácidos grasos volátiles (AGV) que son absorbidos por la comunidad microbiana. Esta fermentación, resulta en la producción de hidrogeno que las bacterias metanogénicas utilizan para reducir el carbono del CO_2 a CH_4 . Este metano es emitido a la atmósfera principalmente mediante eructos, y en menor medida a través de la respiración o de flatulencias. La emisión de metano depende de factores intrínsecos del animal (peso, edad y especie), así como de extrínsecos relacionados con el alimento (composición e ingestión).

Fermentación anaerobia de estiércoles y purines: Los estiércoles y purines de animales están compuestos principalmente por materia orgánica. Cuando parte de esta materia orgánica se descompone en un medio anaerobio (ausencia de oxígeno), debido a la acción de una serie de microorganismos, se genera una mezcla de gases formada principalmente por CH_4 y CO_2 con cantidades menores de N_2 , NH_3 , H_2 y H_2S , que se conoce como nombre de biogás. A este proceso se le denomina digestión anaerobia. En la ganadería, este proceso tiene lugar fundamentalmente durante el almacenamiento de estiércoles y purines y contribuye a las emisiones de CH_4 a la atmósfera (Tamés, 2013).

Estas producciones de metano no deben de obviarse, ya que su potencial de calentamiento global es 23 veces superior al del dióxido de carbono (CO_2). por lo que es considerado el gas de efecto invernadero más importante después del CO_2 (IPPC, 2007).

Como podemos observar, las concentraciones de metano en la atmósfera siguen aumentando (Figura 2), lo cual es indicativo de que las emisiones continúan incrementándose. En España, las granjas de porcino sometidas al régimen de la Directiva de Emisiones Industriales de porcino, emitieron 99.500 toneladas de metano en 2020, un 8% más que en 2019 (DATADISTA, 2022).

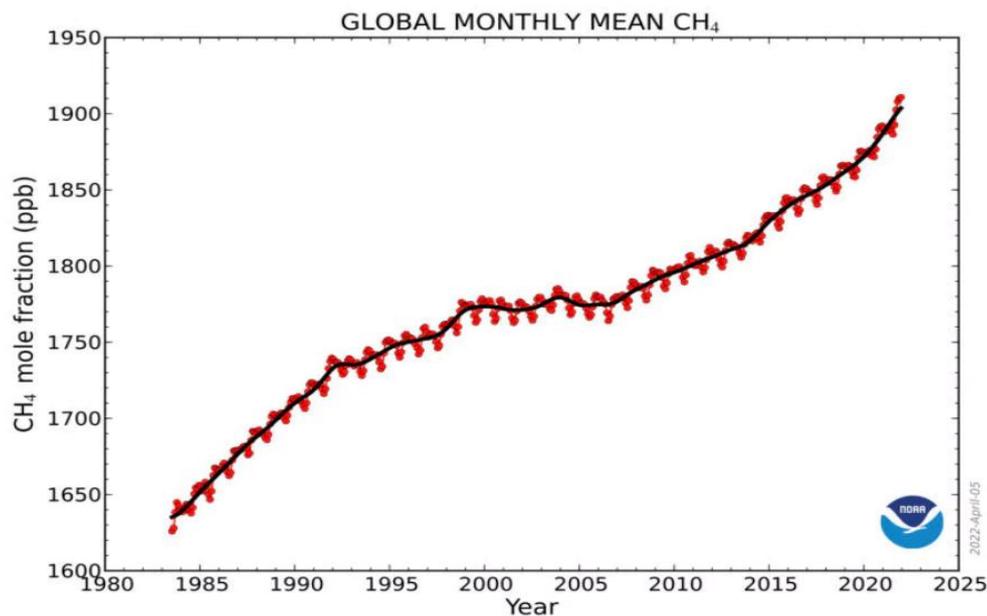


Figura 2: Evolución de la concentración de metano (NOAA, 2022).

1.4. Consumo de materias primas

1.4.1. Visión general en el consumo de materias primas

La ganadería porcina consume elevadas cantidades de recursos, entre los cuales están las materias primas con las que se elaboran los piensos. Esta elaboración de piensos necesita una gran cantidad de materias primas para lograr un correcto abastecimiento. Aquí es donde entra en competencia el uso del suelo para producción de piensos con los cultivos destinados a la alimentación humana (Antezana et al., 2016).

La obtención de materias primas constituye una fuente indirecta de emisiones principalmente por el consumo energético de la elaboración de fertilizantes, por las emisiones de óxido nitroso en suelos de cultivo, por el transporte internacional y, en su caso, por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas los cambios de uso del suelo (Cerisuelo y Calvet, 2020).

La alimentación del animal es un factor decisivo para asegurar la sostenibilidad de la ganadería, especialmente en la producción intensiva de monogástricos. Como ya hemos comentado, en la producción intensiva de porcino la mayoría de los impactos ambientales están relacionados con la obtención de materias primas para su posterior fabricación de piensos (incluyendo desde el cultivo, pasando por el transporte hasta su procesado). A grandes rasgos, la alimentación supone entre un 60-80% de los costes de producción de las explotaciones ganaderas de porcino. Según

los datos del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA, 2018). La fabricación de piensos en España para animales de abasto en 2018 alcanzó los 36,1 millones de toneladas, siendo el primer país productor de la Unión Europea.

Dada la importancia del impacto ambiental de las materias primas y la elevada demanda en crecimiento de producciones de pienso en España, se entiende que tomar medidas en este campo puede ser muy efectivo para mejorar la sostenibilidad del sector ganadero.

Gracias a conocimientos científicos actuales, hoy en día podemos seguir algunas estrategias alimentarias relevantes que pueden contribuir a disminuir el impacto ambiental de la ganadería relacionada con el consumo de materias primas y con su consecuente: la alimentación (Cerisuelo y Calvet, 2020). En este trabajo se estudia la incorporación de subproductos en la elaboración de piensos, concretamente la utilización de bagazo de cerveza o cebadilla.

1.4.2 Uso de subproductos en la elaboración de piensos

Los ingredientes de los piensos se pueden clasificar en varios grupos según su impacto ambiental. El grupo denominado de bajo impacto viene determinado por subproductos provenientes de los propios cultivos o de las industrias agroalimentarias, ya que debido a la baja necesidad de inputs que tiene su producción, su impacto ambiental en los piensos debería ser menor. En especial si se tratan de subproductos de proximidad, generados en fábricas y/o explotaciones cercanas a las granjas (Wilfart et al., 2016).

En nuestro caso, como ya hemos comentado, el subproducto evaluado es el bagazo de cerveza o cebadilla. Este es el residuo sólido que se obtiene después de procesar los granos de cereales germinados y secados (malta) para la producción de cerveza u otros derivados de la malta. Aunque la cebada es el cereal que se usa mayoritariamente para la elaboración de cerveza, también se puede emplear trigo, maíz, arroz, sorgo y mijo.

En el proceso de fabricación de cerveza, los granos de malta se muelen y empapan en agua caliente para que las enzimas transformen el almidón en azúcares. A este proceso se le denomina maceración y sacarificación. El líquido resultante (mosto) se hierva, filtra y se fermenta para producir cerveza. Al final del proceso de sacarificación, una vez todos los azúcares se han separado del grano, obtenemos el bagazo húmedo. Este producto que queda es un concentrado rico en proteína y fibra. Es un “coproducto” de composición muy variable y altamente dependiente del cereal empleado, del proceso industrial (temperatura, fermentación, etc) y del método de conservación (L.Pernia, 2022).

El bagazo de cerveza tiene una producción más o menos estacional con picos de producción en verano, con una producción estimada de alrededor de 30 millones de toneladas por año (MICINN, 2015). Se obtiene con un 75-80% de humedad y es muy inestable como consecuencia de ser un buen sustrato para el crecimiento de microorganismos. Sin embargo, su desecación permite almacenarla y utilizarla más fácilmente en la fabricación de piensos.

A continuación, se muestran los valores nutricionales del bagazo de cerveza en húmedo (Tabla 1) obtenidos por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA).

Tabla 1: Valores nutricionales del bagazo de cerveza. Fuente: FEDNA (2022).

Valores nutricionales del bagazo de cerveza								
Composición química (%)								
Humedad	Cenizas		PB		EE		Grasa verd. (%EE)	
8.5	3.6		24.3		7.2		45	
Σ=98.3	FB	FND	FAD	LAD	Almidón		Azúcares	
	14.0	48.9	20.5	4.2	5.0		0.8	
Ácidos grasos	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{≥20}
% Grasas verd.	1.2	22.2		1.5	12.0	55.4	5.6	
% Alimento	0.04	0.72		0.05	0.39	1.79	0.18	
Macrominerales (%)								
Ca	P	P. fítico	P. disponible		P.digestible Aves		P. digestible Porcino	
0.30	0.44	0.26	0.18		0.00		0.15	
	Na	Cl	Mg		K		S	
	0.05	0.10	0.20		0.38		0.26	
Microminerales y vitaminas (mg/Kg)								
Cu	Fe	Mn	Zn	Vit. E	Biotina	Colina		
8	113	35	92	30	0.30	1650		

PB: Proteína bruta; EE: Extracto etéreo; FB: Fibra bruta; FND: Fibra neutro detergente; FAD: Fibra ácido detergente; LAD: Lignina ácido detergente; P: Fósforo

1.4.3. Evaluación ambiental y productiva

El impacto ambiental de las materias primas suele cuantificarse teniendo en cuenta, básicamente, los “inputs” necesarios para su producción y el impacto ambiental que la obtención, procesado y transporte, y otros procesos involucrados, que cada integrante puede ocasionar a diferentes niveles: emisión de gases de efecto invernadero (impacto cambio climático); potencial de eutrofización; potencial de acidificación; uso de energía; uso de suelo; uso de agua, entre otros. En términos generales, la producción de materias primas para piensos, contribuye en una proporción mayoritaria en estos componentes: un 50-85 % de la huella de carbono por 1 kg de carne, un 64-97 % del potencial de eutrofización y un 70-96 % del uso de energía (Cercisuelo y Calvet, 2020).

En relación a la productividad del bagazo de cerveza, en cierto modo, es estacional, produciéndose más en verano. Su consumo en fresco está limitado por los costes de transporte y el secado encarece el producto, aunque permite múltiples posibilidades de uso.

Cuando hablamos de bagazo de cerveza fresco, en general se recomienda usarlo antes de que transcurran de 2 a 5 días de ser producido. En el caso de climas templados y de 5 a 7 días en el caso de climas fríos, aunque hay quien señala hasta 30 días en invierno en condiciones de frío (L.Pernia, 2022).

En cuanto a la utilización de bagazo de cerveza seco en alimentación animal la información es prácticamente inexistente. Esto puede deberse al encarecimiento del producto por el proceso de desecado, que hasta la fecha ha sido muy demandante en energía y por tanto caro y con costes ambientales asociados. Por lo que se suele utilizar fresco y proveniente de fábricas cercanas a las granjas.

Por lo que, en los sistemas intensivos de producción animal, la producción de materias primas para la fabricación de piensos tiene un gran impacto ambiental y es una de las claves para la reducción de la huella de carbono asociada a los productos de origen animal. Así mismo, es de gran relevancia el estudio en la utilización de subproductos para la reducción de impactos ambientales.

Concretamente, es necesario evaluar la implicación ambiental de producir bagazo de cerveza desecado, analizando en su conjunto el posible impacto de su inclusión en los parámetros productivos de los animales, así como en el posible impacto en la generación de purín y sus emisiones asociadas.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la inclusión de bagazo de cerveza en la alimentación de cerdos de cebo sobre la emisión de metano procedente del purín. Concretamente, se evaluará el efecto de dos tipos de desecación del bagazo (con biomasa o secado solar) a tres niveles de inclusión (0%, 15%, 30%).

3. Metodología

Para llevar a cabo los objetivos planteados, se ha diseñado un protocolo experimental dividido en dos fases. La primera consiste en la recogida de purines procedentes de un ensayo de digestibilidad de porcino de cebo usando distintos tipos y niveles de bagazo de cerveza desecado como subproducto en su alimentación. La segunda fase se produjo en el laboratorio y se basó en la determinación analítica de la composición de los purines resultantes, así como la determinación del potencial de producción de biogás.

3.1. Animales utilizados e instalaciones

El ensayo se produjo sobre muestras de purín extraídas de la granja experimental de cerdos del Centro de Investigación y Tecnología Animal perteneciente al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (CITA-IVIA). Estas muestras provienen de los ensayos de valor energético del bagazo de cerveza en engorde de cerdos, en el marco del proyecto EFFIPIG del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Referencia RTI2018-095246-B-C22). El procedimiento experimental fue aprobado por el comité de ética de la UPV y autorizado por la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural con el código 2017/VSC/PEA/000166.

En el ensayo se utilizan un total de 35 animales de 59,9 kg de peso medio, para evaluar 5 tratamientos (7 animales por tratamiento). Los tratamientos fueron un pienso control y cuatro piensos con dos tipos de bagazo de cerveza a dos niveles de inclusión, tal como se detalla posteriormente. Los ensayos se realizaron durante los meses de junio y julio de 2021, con animales procedentes de una granja comercial. Los experimentos se realizaron en los corrales individuales de digestibilidad del CITA-IVIA, que permiten medir y recoger de forma individualizada el consumo de pienso de cada animal y sus excreciones de heces y de orina.

Tras su llegada a granja, los animales tuvieron un período de adaptación ingiriendo los piensos experimentales durante los 14 días anteriores al inicio del experimento, de los cuales 9 días fueron en corral convencional en grupo y 5 días fueron en el propio corral de digestibilidad. Transcurrida la adaptación al pienso y a las jaulas, se inició un período experimental que incluía una primera fase de 4 días para un estudio de digestibilidad (datos no incluidos en este trabajo), y una segunda fase de 3 días de recogida de heces y orina para el estudio de emisiones. Los animales bajaron de las jaulas con un peso medio de 80,4 kg (ganancia media diaria de 0,90 kg), sin detectarse diferencias significativas entre tratamientos.

Durante cada fase del período experimental se midieron las cantidades de ingesta de alimento y de excreciones de heces y orina.

3.2. Tratamientos ensayados

Se utilizaron dos tipos de bagazo desecado (utilizando biomasa o energía solar), a dos porcentajes de inclusión (15% y 30%) para disponer de 5 tratamientos difiriendo en la alimentación de los animales. Adicionalmente se utilizó una dieta basal sin incluir bagazo, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Dietas utilizadas en el estudio de la inclusión de cebadilla en las dietas de cerdos:

Tratamiento	Resumen dietas
T1	Dieta basal (BASAL)
T2	Bagazo de cerveza desecado con biomasa al 15% (BIO15)
T3	Bagazo de cerveza desecado con biomasa al 30% (BIO30)
T4	Bagazo de cerveza con desecación solar al 15% (SOL15)
T5	Bagazo de cerveza con desecación solar al 30% (SOL30)

El bagazo de cerveza utilizado proviene de la empresa L.Pernía, una empresa especializada en la recolección, gestión y tratamiento de subproductos de la industria cervecera, que está implantando métodos alternativos de desecación de materias y subproductos. La composición de los bagazos, obtenida por el grupo investigador de la Universidad Politécnica de Madrid en el proyecto EFFIPIG, son los indicados en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición de los bagazos empleados en el ensayo. Las unidades están indicadas como % sobre materia seca, salvo que se indique lo contrario entre paréntesis.

	BIOMASA	SOLAR
Materia Seca	89,33	89,86
Cenizas	3,94	4,15
Energía Bruta (Kcal/kg MS)	5184	5163
Extracto Etéreo	13	12,8
Fibra bruta	16,5	16,3
Fibra neutro detergente	51,4	50,3
Fibra ácido detergente	19,1	19
Lignina	1,98	1,88
Proteína Bruta	27,7	26,9
Azúcares	0,92	1,01

MS: Materia seca.

Los ingredientes utilizados en las dietas y su cantidad fueron los indicados en la Tabla 4. La dieta basal se formuló utilizando el maíz como principal ingrediente. En el resto de dietas se reemplazó el maíz por el porcentaje correspondiente de cada tipo de bagazo de cerveza. El diseño de la dieta basal se realizó de esta forma (utilización principal de maíz) para poder evaluar específicamente la digestibilidad del bagazo de cerveza (datos no incluidos en este trabajo) y su impacto en las emisiones.

Tabla 4. Ingredientes y sus cantidades (porcentajes) en las distintas dietas.

Ingrediente	T1 -Basal	T2- Bio15	T3-Bio30	T4-Sol15	T5-Sol30
Maíz	76,7	64,8	53,0	64,8	53,0
Bagazo-BIOMASA	-	15,0	30,0	-	-
Bagazo SOLAR	-	-	-	15,0	30,0
Harina de soja	20,0	16,9	13,8	16,9	13,8
L-Lisina	0,25	0,21	0,17	0,21	0,17
Carbonato Cálcico	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
Fosfato Monocálcico	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Cloruro sódico	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Premix	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

La composición química resultante de las dietas es la indicada en la Tabla 5. El reemplazo del maíz por bagazo de cerveza aumentó el contenido nutricional de los piensos en energía, grasa, fibras y proteína. Los piensos, por tanto, no fueron isonutricionales.

Tabla 5. Resultados de los análisis para las diferentes dietas utilizadas en cada tratamiento. La composición se indica sobre materia seca, salvo en los componentes en los que se indiquen otras unidades entre paréntesis.

	BASAL	15-BIO	30-BIO	15-SOL	30-SOL
	T1	T2	T3	T4	T5
Materia Seca (% MF)	87,12	87,06	87,32	87,25	88,49
Cenizas	5,55	5,56	5,59	5,29	5,86
Energía Bruta (Kcal/kg)	4282	4420	4566	4401	4472
Extracto Etéreo	3,55	4,81	5,61	4,90	5,76
Fibra bruta	2,29	4,01	6,17	4,00	6,13
Fibra neutro detergente	8,7	14,7	21,1	15,5	22,0
Fibra ácido detergente	2,79	5,07	7,29	5,28	7,68
Lignina	0,00	0,16	0,34	0,10	0,5
Proteína Bruta	18,2	18,9	20,6	19,1	19,8
Azúcares	5,72	4,84	4,51	4,45	4,22

3.3. Obtención de las muestras y análisis químicos

El último día de digestibilidad, tras realizar el control de consumo y correspondiente recogida de heces y orina los animales permanecieron en los corrales de metabolismo durante 3 días más para generar una cantidad suficiente de heces y orina para los ensayos de emisiones. La orina se recogió sin acidificar cada 24h y se mantuvo en refrigeración (a 4°C) hasta su procesado. Las heces se recogieron conjuntamente el último día (de los 3) de recogida. Una vez terminado el periodo de recogida, se mezcló las heces y orina según la ratio original de excreción por animal y se dividió en varias alícuotas para realizar diferentes análisis:

- 2 L de purín por animal en 2 botes de 1 L. Estas muestras se congelaron a -20°C para su posterior envío para el análisis de sólidos totales y volátiles, pH, nitrógeno total Kjeldahl, y nitrógeno

amoniaco en el laboratorio del Departamento de Producción Agraria de la Universidad Politécnica de Madrid.

- 1 L de purín por animal en 2 botes de 0,5 L para análisis del potencial de producción de metano. Estas muestras se congelaron a -20°C hasta su posterior análisis (ver apartado siguiente).

3.4. Determinación del potencial de metano

La determinación del potencial de metano se realizó en el laboratorio ambiental del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV).

El potencial de biodegradabilidad o potencial de producción de biogás (B_0) se obtuvo mediante un sistema *in vitro* basado en la incubación de la sustancia a testar a 37°C durante 100 días, en unos viales de vidrio de 120 mililitros de capacidad, cerrados herméticamente.

El inóculo utilizado se obtuvo en los digestores anaerobios de la depuradora de Sagunto (Valencia). Dicho inóculo se mantuvo durante unos 15 días a 37°C con objeto de liberar el biogás residual que quedara por emitir. Terminado el proceso de desgasificación se realizó el análisis de ST y SV del inóculo, guardándose una muestra a -20°C para posteriores análisis. Previo al montaje de los viales se realizó el análisis de ST y SV de los purines.

En primer lugar, se llevó a cabo la identificación de cada vial. A continuación, vertió en los viales el purín junto con el inóculo, de manera que la mezcla tuviese una ratio de SV inóculo/SV purín igual a 1, dejando el 50% de volumen libre para acumular la producción de gas (espacio cabeza). El ensayo se realizó por triplicado (3 viales por cada muestra de purín).

Se comenzó agitando la garrafa que contenía el inóculo con una varilla para llevar a cabo el trasvase del inóculo a un matraz de 5 litros. Con un vaso de precipitados de 250 mL se recogió la cantidad de inóculo necesario para la mezcla. En otro vaso se produjo la mezcla de inóculo junto con purín para su pesaje. Una vez pesada la mezcla se mantuvo en constante mientras se midió el pH.

Esta mezcla se metió en viales y se taparon con un septum para evitar la entrada de aire. También se rellenaron 3 viales en las que únicamente se añadió inóculo, que se utilizaron como blanco de referencia.

Por último, cada vial se burbujeó con CO₂ durante 3 minutos para desplazar el oxígeno y se trasladaron a una estufa a 37°C para su incubación.

La producción de metano se midió a partir de su acumulación en el interior de los viales a partir del volumen de biogás y su concentración en metano. El volumen de biogás se determinó midiendo la presión con un manómetro HD 9220, con el que se extrajo el volumen necesario para igualar la presión del interior a la exterior. El volumen se calculó a partir de la presión alcanzada en el interior del vial. Por otra parte, se midió la concentración de metano en el espacio de la cabeza de cada vial mediante cromatografía de gases utilizando un detector FID.

Para obtener la concentración de CH₄, se obtuvo una recta de calibración utilizando de patrón una mezcla de CH₄ y CO₂ de concentración conocida (60% CH₄ y 40% CO₂). Inyectando cantidades de esta mezcla obteniendo así diferentes puntos de la recta.

Estas mediciones se efectuaron 3 veces durante las 2 primeras, en las siguientes 3 semanas se midieron 2 veces y de ahí en adelante se midió 1 vez por semana. Este diseño temporal permitió adaptarse a las cantidades producidas de biogás en cada momento.

El estudio terminó cuando no se observó diferencias en la producción de metano entre las tres últimas medidas. Tuvo una duración aproximada de 100 días.

3.5. Tratamiento de datos y análisis estadístico

Se obtuvieron datos individualizados por animal (consumos de pienso, producción y composición de heces y de orina) que se utilizaron directamente en el análisis estadístico.

El potencial de producción de metano (B₀) se obtuvo inicialmente como mL de CH₄ por g de materia orgánica del purín. Este valor fue convertido a mL por animal y día utilizando la cantidad materia orgánica excretada al día por cada animal. Adicionalmente, se convirtió la cantidad de metano a energía utilizando la densidad del metano (0,67 g/L) y su contenido en energía (55,65 MJ/kg), para así obtener la fracción de energía ingerida y excretada que se convierte en metano.

Los datos de todas las variables obtenidas se trataron estadísticamente mediante análisis de varianza utilizando el programa Statgraphics Centurion 18. En primer lugar, se realizó un análisis de varianza en el que el efecto fue el tratamiento (T1 a T5), con el objetivo de detectar diferencias entre ellos.

En segundo lugar, se utilizaron los datos de los tratamientos T2 a T5 para evaluar el efecto del tipo de bagazo (desechado mediante biomasa o mediante energía solar), en cada una de las variables. El modelo incluyó también como factor su nivel de inclusión (15% o 30%) y la interacción entre ambos factores. Para ello se utilizó el siguiente modelo:

Variable = media + Tipo + Nivel + Tipo x Nivel + Error

En tercer lugar, tras observar que no hubo diferencias entre los dos tipos de secado, se realizó un análisis de varianza utilizando como único factor el nivel de inclusión (0%, 15% y 30%).

4. Resultados

4.1. Ingesta de pienso

La Tabla 6 muestra la cantidad consumida de piensos y la ingesta total de energía, para cada uno de los tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre los tipos de desecado del bagazo, y por tanto se pudo analizar el efecto del nivel de inclusión de forma conjunta (Figura 3). No se detectaron diferencias significativas en cuanto al consumo de pienso, debidas a la inclusión de bagazo. Sin embargo, la energía consumida por cada animal sí que se incrementó conforme aumentó la cantidad de inclusión de bagazo, como consecuencia de su mayor valor energético.

Tabla 6. Cantidad y composición del pienso según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	Valor-p
Pienso (g MS/día)	1825	1857	1987	1985	2046	88,93	0,337
EB (Kcal/animal y día)	7817	8208	9074	8738	9149	395	0,088

MS: Materia seca; EB: Energía bruta.

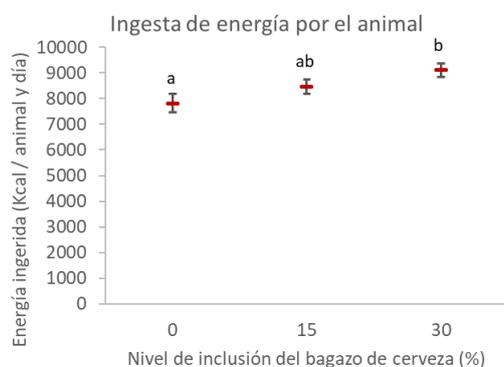


Figura 3. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre la ingesta de energía por animal y día. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.

4.2. Heces generadas

La Tabla 7 muestra la cantidad y composición de heces obtenidos en el ensayo, para cada uno de los tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre los tipos de desecado del bagazo, y por tanto se pudo analizar el efecto del nivel de inclusión de forma conjunta (Figura 4). Puede observarse que el tratamiento tuvo un efecto significativo sobre la cantidad de heces excretadas, expresadas tanto como materia fresca como materia seca. La cantidad de heces se incrementó de forma prácticamente lineal desde el 0% de inclusión (0,50 kg de heces frescas excretadas) hasta el 30% de inclusión (1,33 kg de heces frescas excretadas). En cambio, el porcentaje de materia seca y el pH de las heces no se vieron afectados por la inclusión de bagazo de cerveza. El contenido en cenizas de las heces se redujo de forma significativa con el nivel de inclusión de bagazo de cerveza, lo cual implicó un incremento del contenido de materia orgánica de las mismas. Ese incremento del contenido de materia orgánica se tradujo en mayor contenido en energía de las heces por kg de materia seca y en un mayor contenido de energía excretada en las heces. En cambio, el contenido en nitrógeno total de las heces se redujo con el nivel de inclusión de bagazo de cerveza. No se detectaron diferencias significativas en ningún otro de los parámetros analizados.

Tabla 7. Cantidad y composición de las heces según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	Valor-p
Cantidad MF (Kg/día)	0,50	0,88	1,26	0,96	1,41	0,08	0,000
Cantidad MS (g/día)	190	318	444	346	473	19,88	0,000
MS (% sobre MF)	38,4	35,1	34,3	35,3	32,7	2,06	0,373
Cenizas (% sobre MS)	21,5	16,2	13,4	15,4	13,4	0,50	0,000
SV (% sobre MS)	78,5	83,9	86,7	84,6	86,7	0,50	0,000
Energía bruta (Kcal/kg MS)	4147	4283	4418	4358	4417	25,85	0,000
NTK (g/kg MF)	1,38	1,03	0,97	1,11	0,96	0,09	0,010
pH	6,36	6,53	6,48	6,21	6,47	0,11	0,273

MF: Materia fresca; MS: Materia seca; SV: Sólidos volátiles; NTK: Nitrógeno total Kjeldahl.

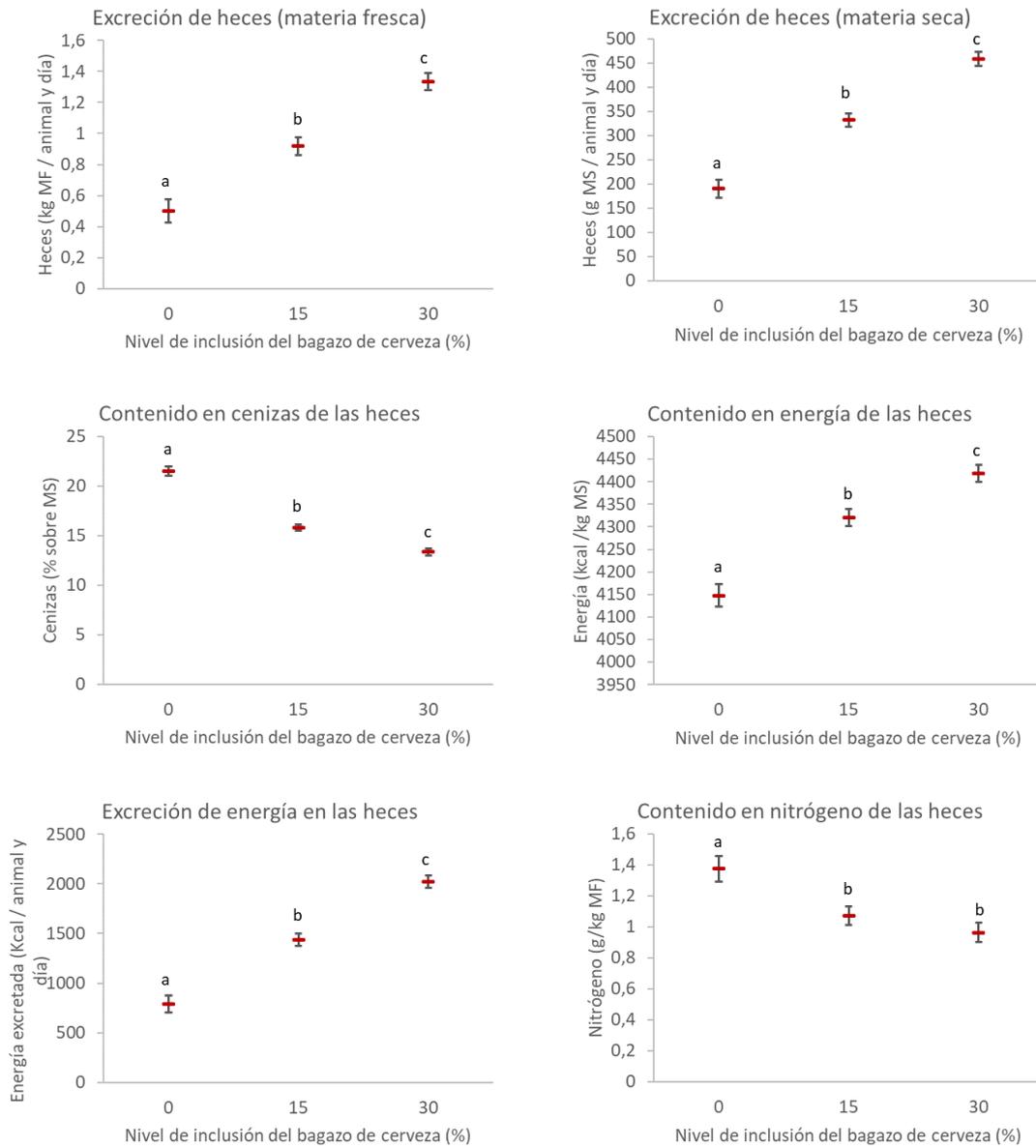


Figura 4. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con las heces excretadas. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.

4.3. Orina generada

La Tabla 8 muestra la cantidad y composición de la orina obtenida en el ensayo, para cada uno de los tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre los tipos de desecado del bagazo, y por tanto se pudo analizar el efecto del nivel de inclusión de forma conjunta (Figura 5). Puede observarse que los distintos tratamientos no tuvieron efectos significativos en la cantidad de orina sobre materia fresca, ni sobre el porcentaje de materia seca. Tampoco lo tuvo sobre el pH, la cantidad de nitrógeno total Kjeldahl, ni la energía excretada en la orina. En cambio, la inclusión de bagazo sí que tuvo un efecto significativo reduciendo la cantidad de cenizas de la orina. Esta reducción de la cantidad de cenizas, provocó consecuentemente un aumento significativo del contenido en materia orgánica de la orina al incluir el bagazo. Al evaluar el efecto del nivel de inclusión del bagazo sobre la energía contenida en la orina, se observó un aumento significativo del 15% de inclusión hasta el 30% de inclusión del bagazo de cerveza, sin detectarse diferencias significativas entre el 0% y el 15% de inclusión.

Tabla 8. Cantidad y composición de la orina según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	Valor-p
Cantidad MF (Kg/día)	1,88	1,17	1,47	1,70	1,44	0,23	0,244
MS (% sobre MF)	4,35	5,51	5,33	4,19	5,08	0,53	0,306
Cenizas (% sobre MS)	34,5	28,8	21,4	31,7	20,2	1,57	0,000
SV (% sobre MS)	65,5	71,2	78,6	68,3	79,8	1,57	0,000
Energía bruta (Kcal/kg MS)	2310	2347	2428	2374	2455	38,84	0,068
NTK (g/kg MF)	7,04	9,42	9,75	6,68	9,25	0,92	0,060
pH	1,88	1,17	1,47	1,70	1,44	0,23	0,244

MF: Materia fresca; MS: Materia seca; SV: Sólidos volátiles; NTK: Nitrógeno total Kjeldahl.

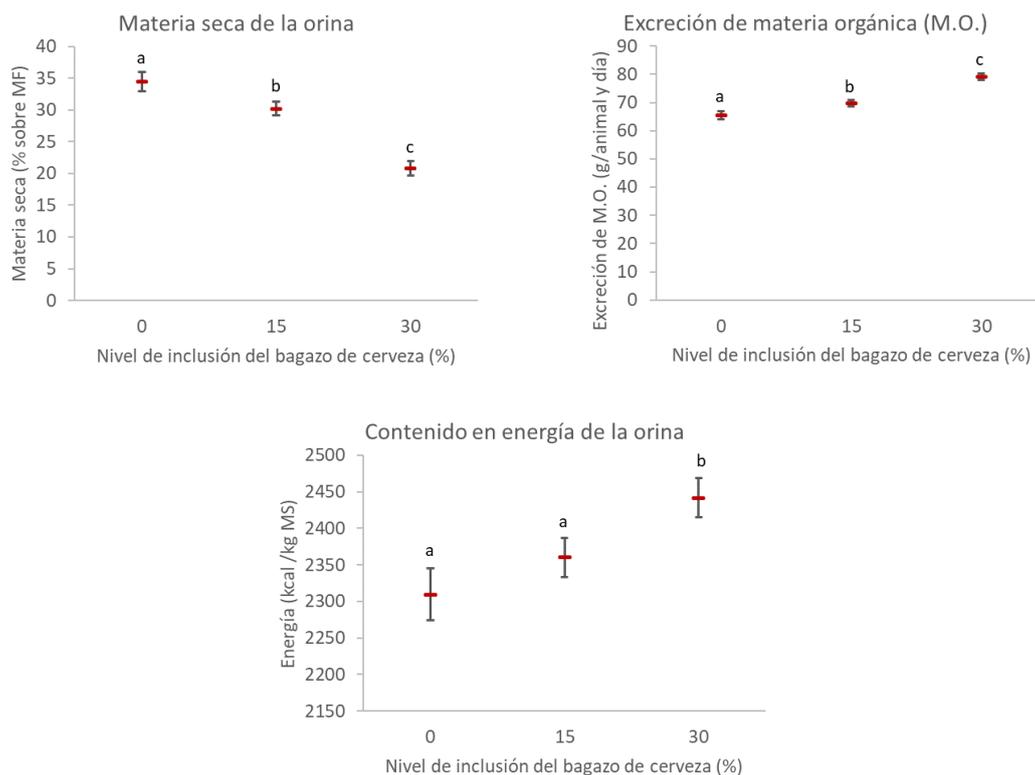


Figura 5. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con la orina excretada. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.

4.4. Purín generado

La Tabla 9 muestra la cantidad y composición del purín obtenido en el ensayo, para cada uno de los tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre los tipos de desecado del bagazo, y por tanto se pudo analizar el efecto del nivel de inclusión de forma conjunta (Figura 6). Puede observarse que el tratamiento tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de materia seca, donde el 15% y 30% de inclusión (17,9% y 18,9% respectivamente) son muy parejos entre ellos, con unos resultados mayores que el 0% de inclusión (11,15%). Respecto a cantidad de cenizas y por consiguiente la cantidad de materia orgánica en la orina, los distintos tratamientos también tuvieron un efecto significativo. Las cenizas se redujeron conforme se incrementaba el nivel de inclusión de bagazo de cerveza, siendo este efecto el inverso para los sólidos volátiles. En cambio, la energía excretada en el purín aumentó de manera lineal desde el 0% de inclusión hasta el 30% de inclusión.

Tabla 9: Cantidad y composición del purín según el tratamiento utilizado. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	Valor-p
Purín (Kg MF/día)	2,38	2,04	2,73	2,66	2,84	0,25	0,180
MS (% sobre MF)	11,2	19,5	19,1	16,3	18,7	1,29	0,000
Cenizas (% sobre MS)	27,3	18,9	15,3	19,2	15,1	0,43	0,000
SV (% sobre MS)	72,8	81,1	84,7	80,8	84,9	0,46	0,000
NTK (g/kg)	9,4	11,6	10,6	9,7	10,0	0,57	0,062
N-NH ₃ (g/kg)	4,50	5,56	5,06	4,18	4,97	0,50	0,364

MF: Materia fresca; MS: Materia seca; SV: Sólidos volátiles; NTK: Nitrógeno total Kjeldahl.

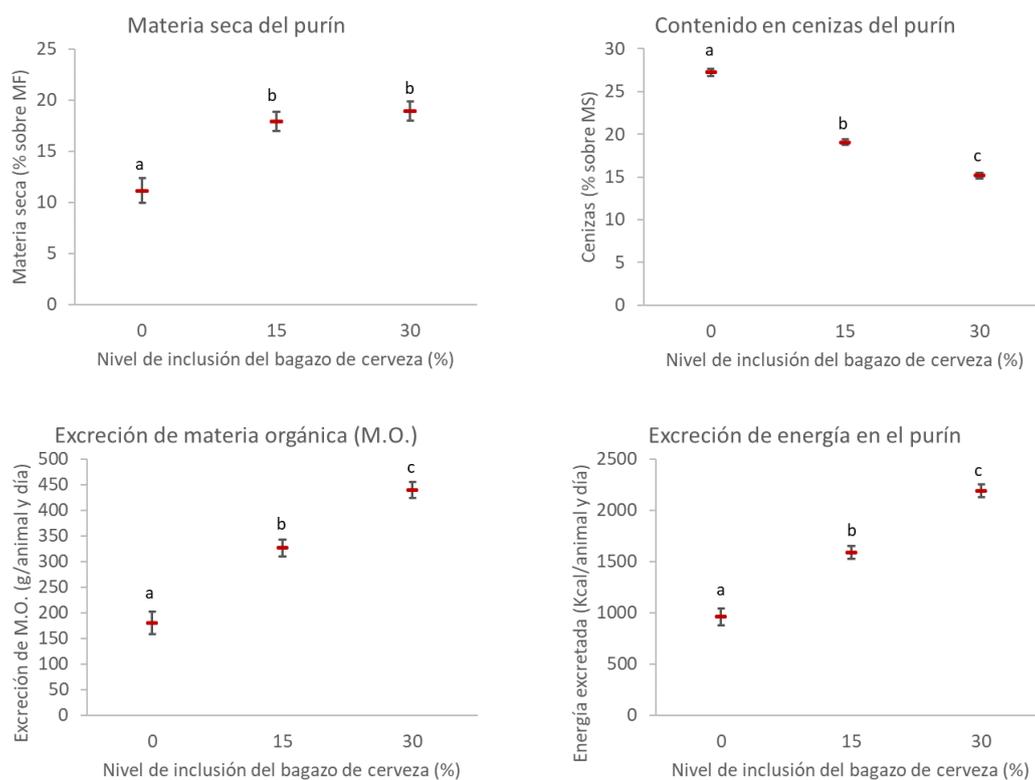


Figura 6. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con el purín excretado. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó

estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras de error representan el error estándar de la media.

4.5. Potencial de metano

La Figura 7 muestra la evolución de la producción de biogás para cada tratamiento a lo largo del tiempo que duró el ensayo. El valor final de dichas curvas se corresponde con el valor del potencial de producción de metano (B_0). En los resultados obtenidos no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo por poco el Tratamiento 1 (Dieta basal) el que mayor cantidad de biogás produjo y el Tratamiento 5 el que menos. La evolución de la producción de biogás también fue similar entre tratamientos.

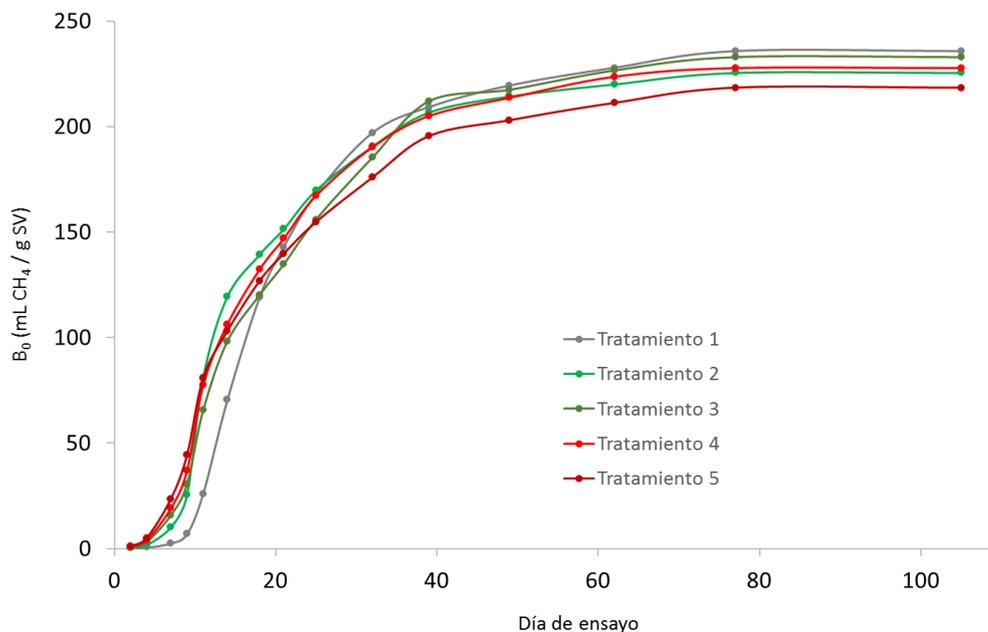


Figura 7. Potencial de producción de biogás para cada tratamiento.

La Tabla 10 muestra la producción de metano obtenido en el ensayo, expresado en varias unidades, así como el balance de energía para cada uno de los tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre los tipos de desecado del bagazo, y por tanto se pudo analizar el efecto del nivel de inclusión de forma conjunta (Figura 8). Se ha observado que el potencial de producción de metano (expresado como volumen de metano emitido por gramo de materia orgánica) no se vio afectado por el nivel de inclusión. En cambio, la producción de metano por animal y día sí que se vio afectado por el nivel de inclusión, siendo observable un crecimiento lineal desde el 0% de inclusión hasta el 30% de inclusión de bagazo de cerveza. En términos de energía, la proporción de energía excretada que se pierde como metano no varió con el nivel de

inclusión. Sin embargo, conforme se incrementó el nivel de inclusión de bagazo de cerveza aumentó también la proporción de energía ingerida que se excreta en forma de purín, y consecuentemente, también la que finalmente se pierde como metano.

Tabla 10. Cantidad de metano emitido según el tratamiento utilizado y porcentaje de emisión respecto a la energía ingerida y excretada. Se indica el error estándar de la media (EEM) y el valor p.

Variable	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	Valor P
B ₀ (mL CH ₄ / g SV)	236	225	233	228	218	18,86	0,958
CH ₄ (mL / animal y día)	42,7	74,3	112	74,7	96,9	8,95	0,000
% E CH ₄ vs. E del purín	39,9	43,7	46,2	40,3	37,7	41,1	0,564
% E del purín vs. E ingerida	12,3	18,3	23,7	18,9	24,6	0,5	0,000
% E CH ₄ vs. E ingerida	4,8	8,1	11,1	7,6	9,4	0,9	0,000

B₀: Potencial de producción de biogás; SV: Sólidos volátiles; E: Energía.

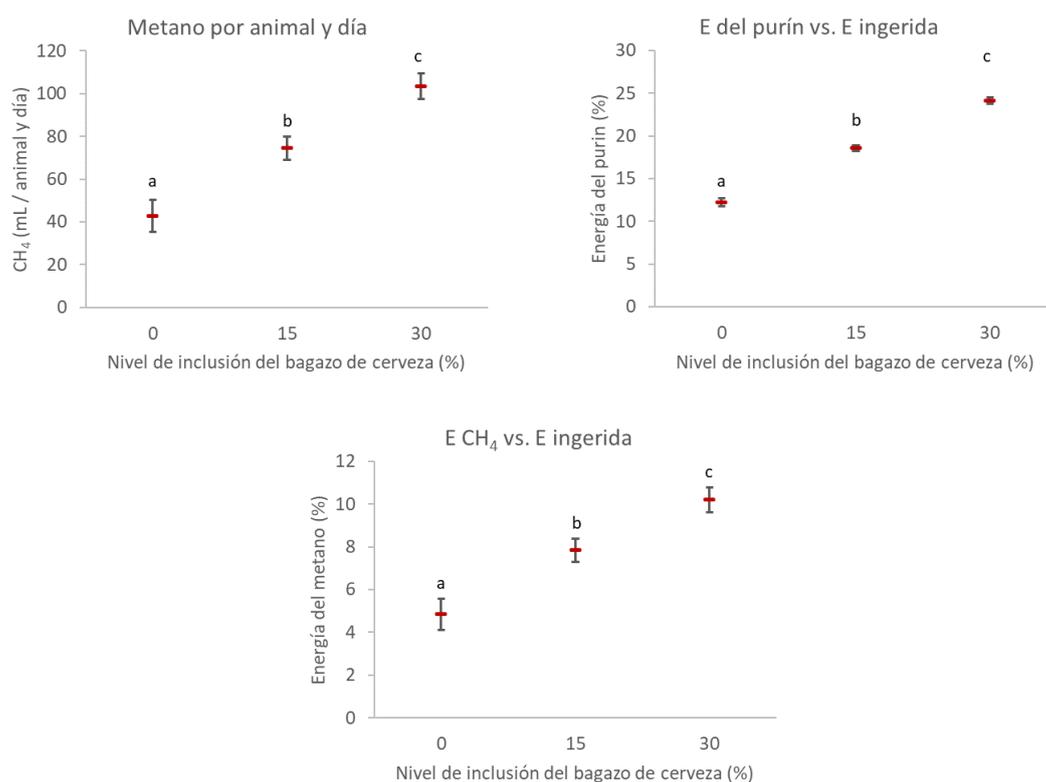


Figura 8. Efecto del nivel de inclusión del bagazo de cerveza sobre variables relacionadas con la emisión de metano y el balance de energía. Se muestran solo las variables en las que el nivel de inclusión resultó estadísticamente significativo. Diferentes letras entre niveles indican valores estadísticamente diferentes (p<0,05). Las barras de error representan el error estándar de la media.

5. Discusión

Este trabajo aporta información novedosa sobre las implicaciones ambientales de utilizar bagazo de cerveza en alimentación de cerdos. Al elaborar este trabajo no se han encontrado publicaciones que midan expresamente la cantidad de metano emitida como consecuencia de utilizar bagazos de cerveza en los piensos de cerdos de engorde.

Sí que existe algo de información nutricional de los bagazos de cerveza, como ya se indicó en la Tabla 1 de este trabajo, si bien estos resultados se limitan a la composición y valor nutricional del bagazo de cerveza, sin entrar en sus efectos sobre las emisiones. Este estudio aporta información sobre dos tipos de secado del bagazo y diferentes niveles de inclusión (0%, 15% y 30%). En líneas generales, el tipo de secado no tuvo ningún efecto sobre las variables estudiadas, mientras que el nivel de inclusión sí que tuvo efecto relevante, tal como se discute a continuación. Parece razonable que el tipo de secado no afecte a la emisión mientras los distintos procesos (secado con biomasa o secado solar) no afecten a la composición química del bagazo. En este sentido, el secado con biomasa se realiza a una temperatura mayor que el secado solar, si bien no parece que los dos tipos de secado afecten de forma diferente a la composición del mismo.

Se han buscado también estudios parecidos a este trabajo, utilizando otros subproductos y tipos de secado, pero la información es escasa. Debe tenerse en cuenta que el desecado de subproductos tiene un interés incipiente debido a que en el pasado ha sido un proceso muy costoso. En concreto, sí que se han encontrado trabajos en los que se utilizan pulpas cítricas u orujos de aceituna, si bien sus características como subproductos son muy diferentes al bagazo de cerveza, siendo por tanto resultados no comparables. Por ejemplo, Ferrer et al. (2021) utilizaron pulpa cítrica desecada al sol en comparación a la desecación habitual en tromel, pero en este caso la desecación solar implicada un ensilado previo de la misma, lo cual afectó de forma relevante al valor nutricional de la misma, reduciendo el contenido de azúcares. Este efecto del tipo de secado no se apreció en el presente trabajo.

Los animales utilizados para el estudio ingirieron los distintos tipos de pienso de forma normal y no se detectaron diferencias en las cantidades de pienso consumidas ni en la velocidad de crecimiento. Sin embargo, a nivel de cantidades ingeridas de nutrientes, los animales ingirieron más cantidad de energía conforme se incrementó el nivel de inclusión de bagazo. Esto es debido al mayor contenido energético de las dietas con bagazo. La mayor ingesta de energía redonda en mayores cantidades de energía excretada, conforme se incrementa el nivel de inclusión.

A nivel de producción potencial de metano (B_0), no se obtuvieron diferencias entre tratamientos: ni el tipo de bagazo de cerveza ni el nivel de inclusión afectaron a la cantidad de metano que se emite por cada gramo de materia orgánica. Sin embargo, conforme aumentó el nivel de inclusión de bagazo de cerveza se incrementó también la cantidad de materia orgánica excretada. Por ese motivo, se incrementó también el metano potencialmente emitido por cada animal en un día.

Es relevante indicar que el porcentaje de energía emitida en forma de metano respecto a la energía del purín no se vio afectado por la inclusión de bagazo de cerveza. Ello indica que la inclusión de bagazo de cerveza no afectó de forma relevante la biodegradabilidad del sustrato excretado. Sin embargo, sí que se observó que el porcentaje de energía contenida en el purín, respecto a la ingerida, se incrementó con la adición de bagazo de cerveza. Consecuentemente, también se incrementa la proporción de energía perdida en forma de metano con respecto a la energía ingerida. Ello indicaría un peor aprovechamiento energético con las dietas ensayadas que contenían bagazo, si bien también aportaría a los purines un mayor potencial de obtención de biogás.

6. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son:

- El tipo de desecado del bagazo de cerveza no afectó a la excreción de purín ni a la emisión de metano.
- El potencial de producción de metano, expresado como la cantidad de metano emitido por gramo de materia orgánica, no se vio modificado por la inclusión de bagazo de cerveza (hasta en un 30%) en la dieta de los cerdos.
- El nivel de inclusión de bagazo de cerveza afectó al balance de energía a nivel del animal, incrementando la excreción de materia orgánica y la emisión de metano resultante por animal.

7. Bibliografía

- ANTEZANA, W.; DE BLAS, C.; GARCÍA-REBOLLAR, P.; RODRÍGUEZ, C.; BECCACCIA, A.; FERRER, P.; CALVET, S. (2016). Composition, potential emissions and agricultural value of pig slurry from Spanish commercial farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 104(2): 159-173. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-016-9764-3>
- CERISUELO, A.; CALVET, S. (2020). La alimentación en producción intensiva de animales monogástricos: Un elemento clave para reducir su impacto ambiental. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 116: 483-506. <http://dx.doi.org/10.12706/itea.2020.039>
- DATADISTA (2022). *Las macrogranjas de porcino aumentaron un 8% sus emisiones de metano y un 3,4% las de amoníaco en 2020*. Disponible en <https://www.datadista.com/medioambiente/las-macrogranjas-de-porcino-aumentan-sus-emisiones-de-metano-y-amoniac-en-2020/> (Consultado el 12 de julio de 2022).
- EUROSTAT (2021). *Producción of meat: pigs*. Disponible en <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00042/default/bar?lang=en> (Consultado el 12 de julio de 2022).
- ESTELLÉS, F (2007). *Diseño y puesta en funcionamiento de una cámara dinámica para el registro de emisiones de gases procedentes de estiércoles y pequeños animales*. Trabajo final de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universitat Politècnica de València. 121pp.
- FAO (2020). *Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 12 pp. <https://www.fao.org/3/cb0606es/cb0606es.pdf>. (Consultado el 9 de septiembre de 2022).
- FEDNA (2022). *Bagazo de cerveza húmedo*. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Disponible en http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/bagazo-de-cerveza-h%C3%BAmedo (Consultado el 16 de julio de 2022).
- FERRER, P.; GARCÍA-REBOLLAR, P.; CALVET, S.; DE BLAS, C.; PIQUER, O.; RODRÍGUEZ, C.A.; CERISUELO, A. (2022) Effects of Orange Pulp Conservation Methods (Dehydrated or Ensiled Sun-Dried) on the Nutritional Value for Finishing Pigs and Implications on Potential Gaseous Emissions from Slurry. *Animals* 11: 387. <https://doi.org/10.3390/ani11020387>
- IPCC (2007). *Informe del Grupo de Trabajo I - Base de las Ciencias Físicas. RT.2.1 Gases de efecto invernadero*. Panel intergubernamental sobre Cambio Climático. Disponible

- en https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-1.html (Consultado el 13 de julio de 2022).
- L.PERNIA (2022). *El bagazo de cerveza o cebadilla en rumiantes*. Disponible en <https://lpernia.com/blog/el-bagazo-o-cebadilla-de-cerveza-en-rumiantes> (Consultado el 14 de julio de 2022).
 - MAPA (2020). *El sector de la carne de cerdo en cifras: principales indicadores económicos*. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, pp. 1-75. www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicossectorporcino2020_tcm30-379728.pdf
 - MAPA. (2018). *Datos de producción de piensos 2018*. CNCAA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Comisión Nacional de Coordinación en Materia de Alimentación Animal (CNCAA). Disponible en https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/2018-informadosdeproducciondepiensosenespana2018_tcm30-512133.pdf (Consultado el 12 de julio de 2022).
 - MICINN (2015). *Nuevos estudios para mejorar la utilización industrial del bagazo de la cerveza*. Ministerio de Ciencia e Innovación. Disponible en <https://www.irnas.csic.es/nuevos-estudios-para-mejorar-la-utilizacion-industrial-del-bagazo-de-la-cerveza/#:~:text=Aunque%20el%20bagazo%20de%20la,residuos%20est%C3%A1n%20muy%20poco%20explotados> (Consultado el 15 de julio de 2022).
 - MITECO (2019). *Sistema Español de Inventario de Emisiones. Inventario 1990-2017*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx> (Consultado el 12 de julio de 2022).
 - MITECO (2022). *CH₄ (METANO)*. Disponible en <https://prtr-es.es/CH4-metano,15588,11,2007.html> (Consultado el 15 de julio de 2022).
 - NACIONES UNIDAS (2022). *Una población en crecimiento*. Disponible en <https://www.un.org/es/global-issues/population> (Consultado el 6 de junio de 2022).
 - NOAA (2022). *Increase in atmospheric methane set another record during 2021*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en <https://www.noaa.gov/news-release/increase-in-atmospheric-methane-set-another-record-during-2021> (Consultado el 31/08/2022)

- OECD/FAO (2021). OCDE-FAO *Perspectivas Agrícolas 2021-2030*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es> (Consultado el 02 de junio de 2022).
- ROBAINA, E. (2022). *El metano alcanza valores récord en la atmósfera por segundo año consecutivo*. Climatica. Disponible en <https://www.climatica.lamarea.com/metano-niveles-record-co2/> (Consultado el 14 de julio de 2022).
- TAMÉS, P.J. (2013). *Estudio de los factores que afectan a la emisión potencial de metano producido por el purín en granjas comerciales porcinas*. Trabajo final de grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universitat Politècnica de València. 66pp.
- WILFART, AGARCIA-LAUNAY, F.; DUSART, L.; ESPAGNOL, S.; LAISSE-REDOUX, S.; GAUDRÉ, D.; MÉDA, B.; GARCIA-LAUNAY, F WILFART, A. (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British Journal of Nutrition*, 120: 1298-1309. <https://doi.org/10.1017/S0007114518002672>