

**ANÁLISIS DEL USO DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN LA DIETA DE  
PORCINOS PARA LA DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

***ANALYSIS OF THE USE OF AGRO-INDUSTRIAL BY-PRODUCTS IN THE DIET OF SWINE FOR  
THE REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS***

Johann Sebastian Velasco Guerrero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cundinamarca, Sede Fusagasugá, Programa de Zootecnia. Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia.

\* Autor de correspondencia

Johann Sebastian Velasco Guerrero, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede de Fusagasugá, Programa de Zootecnia, Transversal 4 este 3C norte #118 Conjunto Montearroyo Casa C11, La palma, Municipio de Fusagasugá, Departamento de Cundinamarca, Colombia. 3232538483, [jsebastianvelasco@ucundinamarca.edu.co](mailto:jsebastianvelasco@ucundinamarca.edu.co)

## Resumen

La producción porcina ha desempeñado un papel clave en la economía y seguridad alimentaria, tanto en Colombia como a nivel global. Sin embargo, este sector ha enfrentado importantes retos ambientales al contribuir a la contaminación del suelo, agua y aire, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Se estima que aproximadamente el 9% de los GEI generados por la ganadería provenían de la porcicultura, destacando su relevancia en la lucha contra el cambio climático. En este contexto, el artículo de revisión tiene como objetivo analizar el uso de subproductos agroindustriales en la dieta de porcinos como estrategia para mitigar las emisiones de GEI.

Las emisiones de GEI derivadas de la porcicultura no solo afectan al clima global, sino que también deterioran los recursos naturales al contaminar fuentes hídricas y suelos agrícolas. Estas emisiones tienen su origen principalmente en tres factores: la fermentación entérica, el manejo inadecuado del estiércol y la alta excreción de nitrógeno asociada con dietas convencionales ricas en proteínas, cuya digestión es ineficiente en los cerdos. Esta situación aumenta la liberación de amoníaco y otros compuestos nitrogenados, lo que agrava la contaminación ambiental y compromete la calidad del aire. Este trabajo busca de manera literaria subproductos como pulpa cítrica, bagazo de caña de azúcar y pulpa de remolacha, destacando su potencial para reducir emisiones al mejorar la digestibilidad y disminuir el contenido proteico de las dietas. Además de ser económicos y accesibles, estos insumos demuestran ser una herramienta eficaz para hacer más sostenible la producción porcina, contribuyendo significativamente a la mitigación del impacto ambiental del sector.

**Palabras clave:** dietas alternativas, GEI, producción porcina, subproductos agroindustriales, sostenibilidad ambiental.

## **Abstract**

Pork production has played a key role in the economy and food security, both in Colombia and globally. However, this sector has faced significant environmental challenges by contributing to soil, water, and air pollution, primarily through the emission of greenhouse gases (GHG) such as methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). It is estimated that approximately 9% of the GHG emissions from livestock originate from pig farming, highlighting its relevance in the fight against climate change. In this context, this review article aims to analyze the use of agro-industrial by-products in pig diets as a strategy to mitigate GHG emissions. The GHG emissions from pig farming not only impact the global climate but also degrade natural resources by contaminating water sources and agricultural soils. These emissions mainly stem from three factors: enteric fermentation, improper manure management, and high nitrogen excretion associated with conventional protein-rich diets, which pigs digest inefficiently. This inefficiency increases the release of ammonia and other nitrogenous compounds, exacerbating environmental pollution and compromising air quality.

This study explores, through a literary approach, by-products such as citrus pulp, sugarcane bagasse, and beet pulp, emphasizing their potential to reduce emissions by improving digestibility and lowering the protein content of diets. In addition to being economical and widely available, these inputs prove to be an effective tool for making pork production more sustainable, significantly contributing to the sector's environmental impact mitigation.

**Key words:** pork production, agroindustrial byproducts, GHG, environmental sustainability, alternative diets

## **ESTADO DEL ARTE**

### **1. Niveles de generación de gases en producciones porcícolas**

La contaminación ambiental en las producciones porcícolas se encuentra determinada principalmente por la generación y acumulación de residuos debido al deficiente manejo o tratamiento de estos, que posteriormente conllevan a problemas de salud pública por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y fuentes de propagación de plagas y enfermedades. Como se puede evidenciar en Rodríguez et al (2019), que define como principales problemas ambientales en esta producción pecuaria, la contaminación del agua superficial, el subsuelo por nitrógeno y fósforo en el estiércol porcino y la contaminación del aire por la generación de gases como el dióxido de carbono, amoníaco, ácido sulfhídrico y metano, que pueden afectar tanto la salud pública como de los animales de la producción (Rodríguez et al., 2019). En relación con la composición de las excretas y la orina, según Orrala, (2021), los niveles de nitrógeno se encuentran en un 16 % y 51 % respectivamente, como parte de los nutrientes que los porcinos no asimilan totalmente; nitrógeno del cual un 34 % se convierte en gas y el 32 % se incorpora al suelo como parte del ciclo de nitrógeno (Orrala, 2021).

Además, el estiércol porcino contiene 6,1 % de óxido fosfórico ( $P_2O_5$ ), 1,63 % de óxido de potasio ( $K_2O$ ), y 3,98 % de óxido de calcio ( $CaO$ ) (Moreno Ayala & Cadillo Castro, 2018). De esta manera, los residuos orgánicos porcinos por acumulación producen gases contaminantes que además de afectar la calidad del aire, producen olores desagradables para poblaciones aledañas a las producciones.

#### **1.1. Cantidad producida de estiércol porcino**

La producción porcina produce grandes cantidades de estiércol debido a las numerosas poblaciones que maneja y de acuerdo con la edad de los cerdos, se clasifican: en pequeños los que son menores de 8 semanas y producen en promedio 1 kg de estiércol al día; los medianos que se encuentran entre 2 y 6 meses de edad con una producción de 1,5 kg/día y los grandes que comprende los cerdos mayores de 6 meses, sementales y vientres, con una producción de 2 kg/día (Rodríguez et al., 2019).

La producción de estiércol en cerdos varía de acuerdo con su etapa fisiológica y peso:

- ✓ Etapa de Cría: Cerdos de aproximadamente 16 kg generan alrededor de 1 kg de estiércol diario, con una producción de sólidos totales de 0.09 kg/día y sólidos volátiles de 0.08 kg/día.
- ✓ Etapa de Recría: Los cerdos de 29 kg producen aproximadamente 1.8 kg de estiércol al día.
- ✓ Etapa de Engorde: En esta fase, cerdos con un peso de 68 kg generan unos 4.3 kg de estiércol diario.
- ✓ Etapa de Maternidad: Las cerdas en esta etapa alcanzan los 170 kg y producen la mayor cantidad de estiércol, con 15.1 kg diarios, de los cuales 1.36 kg corresponden a sólidos totales y 1.36 kg a sólidos volátiles.
- ✓ Verraco: Los verracos de aproximadamente 159 kg producen 5.3 kg de estiércol al día.

En la tabla 2, se observa detalladamente la composición de las excretas según el estado fisiológico de los cerdos. Además, en la figura 1, se representa una ilustración para darle una mejor explicación al anterior párrafo.

Esta variación en la producción de excretas responde a los cambios fisiológicos y de peso en cada etapa del ciclo de vida del cerdo. Con relación a lo anterior, durante las etapas de producción hay una producción promedio de 0,02 kg/día de nitrógeno, fósforo y potasio, a excepción de la etapa de maternidad que presenta la mayor producción con 0,10; 0,08; 0,08 kg/día respectivamente (Orrala, 2021). Teniendo en cuenta esta producción, cada tonelada de estiércol porcino puede contener 22 kg de nitrógeno, 15 kg de fósforo y 10 kg de potasio (Orrala, 2021). Esto depende de la dieta de los cerdos, ya que una alimentación con exceso de proteínas puede aumentar el riesgo de contaminación al liberar más nitrógeno del que los animales realmente necesitan. Teniendo en cuenta la información del párrafo anterior, se complementa la información con la tabla 1, la cual muestra la composición química del estiércol porcino en MO (%), Humedad (%), pH, Conductividad eléctrica, N (%), óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),

óxido de potasio (K<sub>2</sub>O), Óxido de calcio (CaO) . (Moreno Ayala & Cadillo Castro, 2018).

### **1.1.1. Emisión de gases de efecto invernadero**

Los gases de efecto invernadero se producen por la digestión anaeróbica del estiércol, que produce metano en un 60 %, dióxido de carbono en 39 % y óxido nitroso en 0,2 % (Pinos et al., 2012). En relación, a la emisión de estos gases, la producción ganadera aporta 20% del metano, 40% de amoníaco y óxido nitroso que es de los principales gases contaminantes (Pinos et al., 2012).

En el caso de la producción porcina a nivel mundial se considera que produce 9 % del total de emisiones de óxido nitroso y metano de la producción ganadera (Pinos et al., 2012). Esto se debe principalmente a que los porcinos no asimilan totalmente los nutrientes que aportan las dietas, por lo tanto, en dietas con exceso de proteína, la mayor parte del nitrógeno es desperdiciado y desechado como nitrógeno amoniacal en heces y orina (Pinos et al., 2012); teniendo en cuenta que del nitrógeno presente en el estiércol porcino el 40 % es de origen orgánico y el 60 % de origen amoniacal, y la orina es de origen totalmente amoniacal que genera un mayor riesgo para la contaminación ambiental (Orrala, 2021).

### **1.2. Factores que aumentan la contaminación de las excretas**

La contaminación de las excretas en porcinos puede estar influenciada por varios factores, los cuales son:

- I) El manejo de excretas donde se almacenan no es el adecuado, por lo tanto, no se puede hacer la eliminación ideal provocando mayor contaminación ambiental principalmente (Orrala, 2021).
- II) La alimentación y la dieta son factores importantes para considerar, ya que dietas inadecuadas pueden elevar el contenido de nutrientes en las excretas, incrementando así el riesgo de contaminación (Martínez et al., 2022).

III) El manejo inadecuado de las aguas residuales provenientes de la limpieza o la eliminación de heces puede provocar la contaminación del suelo y de las fuentes de agua cercanas (Orrala, 2021).

IV) El último factor son los sistemas de ventilación inadecuados pueden aumentar la concentración de gases y olores desagradables, lo que puede contribuir a la contaminación del aire (Martínez et al., 2022).

En relación con el efecto de las dietas suministradas a los porcinos sobre la contaminación, se debe a que cuando se presenta un exceso de los compuestos nitrogenados como la proteína en las dietas con concentrados que es lo que normalmente se suministra; se produce un elevado contenido de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que los porcinos excretan al ambiente en las heces y la orina (Le Dinh et al., 2022). Con relación a la emisión de amoníaco, (Rodríguez, 2013), menciona que “del nitrógeno total suministrado a un cerdo en la dieta en forma de proteína, solamente entre un 20 a 40 % es retenido por el animal.” el nitrógeno excretado por orina en forma de urea, se convierte en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). De esta manera, es de gran importancia implementar dietas alternativas para los porcinos con el nivel adecuado de proteína cruda que cumpla con sus requerimientos de acuerdo con su etapa fisiológica y productiva (Le Dinh et al., 2022). En la figura 2, representa el ciclo del nitrógeno complementado la información del anterior párrafo.

## **2. Nutrición y alimentación de los porcinos**

El impacto ambiental generado por los porcinos de manera intensiva, en la actualidad tiene gran importancia, se requiere la producción de alimentos de origen animal que garantice el bienestar de los animales y minimice el impacto ambiental (Valverde, 2020).

Las estrategias nutricionales implementadas en las granjas porcinas para reducir el volumen y la contaminación de los efluentes incluyen: (I) alimentar por fases, (II) minimizar el desperdicio de alimento y (III) disminuir la proteína de la dieta. En la estrategia de reducción de contenido proteico se plantea un balanceo a la dieta con subproductos fibrosos y polisacáridos no

estructurales (pulpa cítrica, caña de azúcar y pulpa de remolacha), en caso de no cumplir con los requerimientos se debe suplementar con enzimas o aminoácidos sintéticos (Le Dinh et al., 2022). El suministro de estas materias primas favorece la producción de ácidos grasos volátiles por las bacterias intestinales, lo que reduce el contenido de urea en la orina y el pH intestinal, disminuyendo así la excreción de nitrógeno al ambiente (Valverde, 2020).

### **2.1. Requerimientos nutricionales**

Los requerimientos nutricionales en cerdos varían a lo largo de su ciclo de vida y su ciclo productivo. Además, es importante ajustar la dieta para satisfacer las necesidades específicas en cada etapa, desde el destete hasta la finalización para la producción de carne. La nutrición adecuada en cerdos no solo es importante para su crecimiento y desarrollo, sino también para prevenir problemas de salud, optimizar la conversión alimenticia y minimizar el impacto ambiental de la producción porcina (Fernandes, 2015).

Referente a los requerimientos nutricionales en la tabla 3, se representa detalladamente los nutrientes dependiendo el peso del cerdo.

### **3. Alimentos convencionales de mayor generación de gases de efecto invernadero**

La nutrición es uno de los factores que más influye en las emisiones de gas metano ( $\text{CH}_4$ ), y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ); lo cual fue evidenciado por Fernandes, (2015) quien determinó que “las emisiones de gases en purines de cerdos con una dieta control convencional compuesta por cebada, trigo y harina de soja presentaron mayores emisiones de  $\text{NH}_3$  por kg de purín en comparación a las dietas suplementadas con subproductos fibrosos” En relación con la emisión de gases, según este estudio realizado por Fernandes (2015), el tratamiento control de dieta convencional presentó 2,44 g de  $\text{NH}_3$  por kg del lixiviado excretado, lo cual representó una cantidad mayor en comparación con 1,84 y 1,76 g de  $\text{NH}_3$ , en dieta con pulpa cítrica y algarroba respectivamente (Fernandes, 2015).

De igual manera, Jaurena et al, (2019), menciona que “la mayor tasa de liberación de metano se encontró en el estiércol proveniente de ganado alimentado con grano en comparación del ganado alimentado con dietas altas en fibra”, esto se debe a que los alimentos convencionales con grano, presentan una mayor cantidad de carbohidratos fácilmente fermentables en las heces y mayor contenido de proteína bruta que favorece el metabolismo bacteriano y por lo tanto, las emisiones de metano al ambiente (Jaurena et al, 2019).

En relación al contenido de proteína bruta en concentrados, en un estudio de Sagaró y Ferrer (2021), determinaron el aporte de nutrientes de las dietas experimentales, con una dieta control correspondiente a 100 % concentrado con una composición nutricional de 87,4 % de materia seca, 17,5 % de proteína bruta y 5% de fibra bruta (Rubio et al., 2023); que en comparación a alimentos alternativos como la pulpa cítrica, presenta un menor contenido de proteína y mayor porcentaje de fibra que se relaciona con una disminución de la emisión de  $\text{NH}_3$ . Rubio et al (2023), indica que “la pulpa de naranja presenta 7,4 % de proteína bruta y 14,9 % de fibra cruda (Rubio et al., 2023). De esta manera, así como lo menciona (García y Sánchez, 2019), “la sustitución de cereales por subproductos fibrosos de la industria agroalimentaria puede contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”.

#### **4. Subproductos agroindustriales para dietas en porcinos**

Los subproductos agroindustriales representan una alternativa para reducir el contenido proteico en los concentrados normalmente suministrados a los cerdos. Entre estos subproductos se incluyen materiales fibrosos y polisacáridos no estructurales, como la pulpa de cítricos, caña de azúcar y pulpa de remolacha. Si estos ingredientes no cumplen con los requisitos nutricionales, es necesario complementar la dieta con enzimas y/o aminoácidos sintéticos para garantizar una nutrición adecuada (Skoufos et al., 2023).

El uso de estos subproductos ayuda a disminuir la emisión de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) al ambiente, lo cual contribuye a una menor liberación de gases de efecto invernadero. Esto se debe a que estos subproductos contienen altos niveles de fibra, lo que favorece su fermentación por la microbiota intestinal de los cerdos y proporciona una fuente adicional de energía para los

animales (Skoufos et al., 2023).

De esta manera, se debe considerar los aportes nutricionales de cada uno de los subproductos que se vayan a suministrar a los porcinos y tener en cuenta los niveles de inclusión para los porcinos (Skoufos et al., 2023).

En dietas porcinas, los subproductos agroindustriales presentan un gran potencial como alternativas sostenibles. La pulpa de naranja y otros cítricos pueden ser incluidos en niveles del 5 % al 15 % de la materia seca (Ferrer et al., 2021), sin afectar negativamente el desempeño de los animales, mejorando incluso la calidad de la carne y reduciendo emisiones ambientales. (Xu, 2024). El bagazo de caña de azúcar, dependiendo de su procesamiento, puede incorporarse en proporciones del 10 % al 20 %, funcionando como una fuente económica de energía y favoreciendo la digestibilidad. Por su parte, la pulpa de remolacha resulta adecuada en cantidades del 10 % al 15 % en cerdos adultos, en lechones la cantidad es de 3 % en la dieta de los cerdos podría ser beneficiosa para la mejora de la salud intestinal de los cerdos y la calidad de la carne de cerdo. Además, contribuye a disminuir la excreción de nitrógeno y las emisiones de amoníaco asociadas (Badaras, 2022). Estas inclusiones no solo optimizan el uso de recursos locales, sino que también aportan beneficios ambientales significativos al disminuir la carga de contaminantes en la producción porcina.

#### **4.1. Pulpa cítrica**

La pulpa cítrica es el subproducto que se da a partir de la extracción de zumo de los cítricos, proceso que inicia con el lavado de la fruta que elimina suciedad y residuos, luego la separación de los aceites y la cáscara; la extracción del zumo y finalmente con la separación de la pulpa se obtiene la piel en un 60 a 65 %, segmentos del fruto en 30 a 35 % y semillas de 0 a 10 % (Ferrer et al., 2021), en la figura 3, se explica mejor el proceso de la extracción del zumo. Esta pulpa es la que se utiliza para consumo directo de los animales, como producto fresco, ensilado o deshidratado para la producción de pellets, que es como normalmente se suministra a los porcinos (Ferrer et al., 2021). Con relación al proceso de deshidratación, se adiciona hidróxido de calcio para aumentar el pH y facilitar la liberación de agua, razón por la cual la pulpa deshidratada tiene un mayor contenido de calcio (FEDNA, 2020).

#### **4.1.1. Composición nutricional**

En relación a la composición química de la pulpa de cítricos varía según el tipo de fruta; no obstante, se caracteriza por presentar un contenido de materia seca del 20 %; carbohidratos solubles de 20 % y pectinas del 30 % (FEDNA, 2020). Además, aporta 2,67 Mcal de energía metabolizable (EM) y en base a la materia seca, aporta 7,64 % de proteína bruta (PB), 2,6 % de extracto etéreo, 18,3 % de fibra bruta, de FDN y FDA presenta 26 % y 23,5 % respectivamente, y de carbohidratos no fibrosos (CNF) presenta 58,5 % con una digestibilidad elevada del 85 % (FEDNA, 2020).

De esta manera, la pulpa de cítricos se considera una alternativa para la alimentación de los porcinos, debido a que se presenta como una fuente importante de fibra soluble, especialmente para cerdos de engorde, a causa de sus beneficios sobre la microbiota intestinal y sus efectos en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero del estiércol porcino (Cruz, 2014).

En la tabla 4, representa la composición nutricional de la pulpa cítrica de la información del párrafo anterior.

#### **4.1.2. Pulpa de naranja**

La pulpa de naranja se ha utilizado con mayor frecuencia para la alimentación de rumiantes, La inclusión de pulpa de cítricos en las dietas para monogástricos implica un proceso más largo, ya que requiere de un tratamiento previo para hacerla más adecuada para su digestión y absorción; el secado para su deshidratación y también por su alto contenido de fibra. Sin embargo, el valor nutricional de la pulpa seca de cítricos para cerdos presenta un buen contenido de energía digestible con 12,8 a 14,0 MJ/kg en base a la materia seca (Cruz, 2014).

En el caso de la pulpa de naranja se caracteriza por ser rica en fibra soluble como las pectinas, por lo que es altamente fermentable en el ciego del cerdo, además por el alto contenido de azúcares disponibles que facilitan la fermentación y puede disminuir las emisiones de amoníaco y metano del estiércol porcino (Cruz, 2014). Sin embargo, presenta un bajo contenido de proteína cruda y fósforo, debido al alto contenido de humedad que es del 90 % (Cruz, 2014). Por esta razón, a la pulpa de naranja se le debe agregar cal y se debe compactar

para reducir la humedad y se deshidrata en secadores rotatorios o de manera natural bajo el calor del sol. En un estudio de (Ferrer et al, 2021), se evaluó el valor nutritivo de dietas con pulpa de naranja deshidratada mediante dos métodos: con combustible convencional y mediante ensilado seguido de secado al sol. Los resultados mostraron que la pulpa deshidratada con combustible convencional contenía 64.5 g/kg de MS de proteína cruda, 355 g/kg de MS de azúcares totales y 287 g/kg de fibra soluble. En comparación, la pulpa ensilada y secada al sol presentó 79.3 g/kg de MS de proteína cruda, 101 g/kg de MS de azúcares totales y 271 g/kg de fibra soluble. Ambas opciones aportaron un valor energético de 17.4 MJ/kg. (Ferrer et al, 2021).

Con base a esto, la fermentación de azúcares durante el ensilaje aumenta el nivel de fibra y disminuye la digestibilidad energética en la pulpa ensilada y secada al sol en comparación con la deshidratada con combustible convencional (Cruz, 2014). No obstante, ambos procedimientos presentan un buen contenido de energía digestible para su utilización en la alimentación de cerdos de engorde (Cruz, 2014).

## **4.2. Jugo de caña de azúcar**

La caña de azúcar es el cultivo tropical de mayor eficiencia en la fotosíntesis y en los mecanismos de producción de biomasa. De esta planta C4 podemos obtener jugo de caña el cual es aprovechado por los porcinos; donde se ha demostrado que se fermenta después de 10 a 12 horas. (Rodríguez, 2013). Bajo estas condiciones los animales reducen su consumo, por el cambio en la palatabilidad y en la pérdida del contenido de azúcares del alimento, por lo tanto, el uso de aditivos como el benzoato de sodio que es un preservativo que ayuda a mantener la concentración de estas azúcares. Se recomienda un nivel del 0,15 % de benzoato de sodio para poder almacenar el jugo de caña por un periodo de 7 días. (González, 2012).

### **4.2.1. Composición nutricional**

El jugo de caña contiene entre 15 y 20 % de sólidos totales de los cuales alrededor del 80 % son azúcares solubles, principalmente sacarosa, representa una excelente fuente de energía para la alimentación de cerdos con un valor de energía bruta de 3850 Kcal/Kg MS, energía

digestible de 3670 Kcal/Kg MS y energía metabolizable de 3540 Kcal/Kg MS, con 21 % de MS y 14,8 % de sacarosa (González, 2012).

En la tabla 5, se encontró una comparación de diferentes autores sobre la composición química del jugo de caña de azúcar, complementando la información del párrafo anterior. Además, en la tabla 6, está la composición nutricional caña de azúcar como materia prima.

### **4.3. Pulpa de remolacha**

Wang et al., (2019), menciona que “la pulpa de remolacha azucarera es un subproducto, que contiene cantidades de polisacárido almidonados en un 600 a 700 g por kg de materia seca; es un subproducto que puede utilizarse como alternativa para aumentar el volumen en una dieta para cerdas preñadas, debido a que es un alimento fibroso a diferencia de dietas con piensos de cereales que representa una menor cantidad; además se caracteriza por ser una fuente rica de fósforo disponible (Wang et al., 2019). Además, Diao et al, (2020), indica que “la pulpa de remolacha tiene altos niveles de fibra cruda, lixiviados libres de nitrógeno y proteína cruda, lo que permite disminuir el contenido de nitrógeno amoniacal y por lo tanto la emisión de gases de efecto invernadero (Diao et al, 2020).

En el caso de los porcinos, por sus características a nivel fisiológico y anatómico del sistema digestivo, el suministro de pulpa de remolacha aumenta la digestibilidad debido a su alto contenido de fibra soluble (Bacha, 2020); y según (Diao et al, 2020) “tiene un efecto positivo en la composición de la microbiota intestinal de los lechones” (Bacha, 2020).

#### **4.3.1. Composición nutricional**

La pulpa de remolacha presenta un contenido de fibra bruta del 19 % (FEDNA, 2016), con 44 % y 24 % de FND y FAD, respectivamente y un contenido bajo de lignina de 2 a 4 % (Calvet et al., 2015), características que brindan a este subproducto, una digestibilidad elevada.

Además, según (FEDNA, 2018), “el contenido en proteína bruta de la pulpa de remolacha es de 7 a 10 %”; que representa un bajo contenido de proteína. Por otro lado, en relación con el suministro de la pulpa de remolacha a los porcinos, puede ser de forma húmeda en un 10 a 12 % MS; prensada en 20 a 25 % MS, ensilada o deshidratada y granulada que es como normalmente se suministra (Calvet, et al, 2015). En la tabla 7, se encuentra la composición nutricional de la remolacha.

## **5. Efectos de los subproductos en la emisión de gases**

El uso de subproductos agroindustriales como las pulpas cítricas, jugo de caña de azúcar, pulpa de remolacha, entre otros, se han considerado como una alternativa para disminuir gases de efecto invernadero en producciones porcinas; así como lo determinó Beccaccia et al., (2015), quién midió las emisiones de gases de los purines de porcinos con una dieta control convencional compuesta por cebada, trigo y harina de soja, y una dieta alternativa con pulpa de cítricos y de garrofa Fernandes, (2015); en la que determinó emisiones diarias de  $\text{NH}_3$  por kg de estiércol más bajas en las dietas suplementadas con los subproductos fibrosos con 1,81 g  $\text{NH}_3$  en comparación de la dieta convencional con un promedio de 2,44 g  $\text{NH}_3$  producido por kg de estiércol; lo que representa un menor potencial para la emisión de gases como el metano (Fernandes, 2015).

De esta manera, así como lo menciona Salvador et al, (2015), “la inclusión de subproductos agroindustriales en la dieta de porcinos con fuente de fibra fermentable contribuye a la disminución de nitrógeno que se excreta en orina y heces, en forma de amoníaco.” Lo cual se relaciona con la disminución del nivel de proteína en la dieta, que permite tener una menor excreción de nitrógeno y por lo tanto de amoníaco (Salvador et al, 2015). En la figura 4, se representa una ilustración para darle una mejor explicación al anterior párrafo.

## CONCLUSIONES

1. La producción porcícola es responsable de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular, de óxido nitroso y metano; gases que contribuyen a la contaminación y el cambio climático. Teniendo en cuenta que cada tonelada de estiércol porcino puede contener 22 kg de nitrógeno, del cual un 34 % se convierte en gas como el amoníaco; esto se debe a la ineficiencia en la asimilación de nutrientes en los porcinos, especialmente en dietas con exceso de proteína, generando una mayor excreción de nitrógeno amoniacal en heces y orina, lo que aumenta la contaminación ambiental.
2. La incorporación de subproductos agroindustriales, como la pulpa cítrica, el jugo de caña de azúcar y la pulpa de remolacha, en la dieta de los cerdos es una estrategia efectiva para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental. Estos subproductos tienen un alto contenido de fibra y otros componentes que estimulan la producción de ácidos grasos volátiles por la microbiota intestinal de los cerdos, lo que disminuye la emisión de nitrógeno al ambiente y mejora la digestibilidad.
3. El análisis de los alimentos convencionales utilizados en la alimentación de los cerdos es esencial para comprender el impacto ambiental de la producción porcícola. Los alimentos tradicionales, como cebada, trigo y harina de soja, tienden a generar mayores emisiones de gases de efecto invernadero, como amoníaco y metano, por su alto contenido de carbohidratos fácilmente fermentables en las heces y mayor contenido de proteína bruta, en comparación con las dietas que incluyen subproductos agroindustriales ricos en fibra.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseamos agradecer a nuestros profesores, asesores y jurados cuya orientación, conocimientos y valiosos consejos han sido de vital importancia para la realización de este artículo. Su paciencia y dedicación han sido un gran apoyo para la culminación de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

Bach, A. (2022). Economía circular en sistemas ganaderos: el papel de los subproductos agroindustriales. *Avances en Biociencias Animales*, 13(1), 45-50. <https://doi.org/10.1017/S2040470022000054>

Bacha, F. (2020). Materias primas. Cascarilla de soja (Glycine Max). A., Latina. [https://com/download/latam\\_1er\\_trimestre\\_materias-primas-%20cascarilla-soja.pdf](https://com/download/latam_1er_trimestre_materias-primas-%20cascarilla-soja.pdf)

Badaras, S., Klupsaite, D., Ruzauskas, M., Gruzauskas, R., Zokaityte, E., Starkute, V., Mockus, E., Klementaviciute, J., Cernauskas, D., Dauksiene, A., Vadopalas, L. y Bartkiene, E. (2022). Influencia de la suplementación con pulpa de remolacha azucarera en la salud y la calidad de la producción porcina. *Animales*, 12 (16), 2041. <https://doi.org/10.3390/ani12162041>

Calvet, S., Cerisuelo, A., Ferrer, P., Antezana, W., Becaccia, A., García, P., de Blas, C. (2015). A. Latina. <https://com/download/-1115-Efecto-nutricion-sobre-emisiones-gases-porcino.pdf>

Cerisuelo, Alba & Ferrer, Pablo & Beccaccia, A. & Calvet, Salvador & Cambra López, María & Estellés, Fernando & Antezana Julián, Walter & Garcia Rebollar, Paloma & de Blas, Carlos. (2014). Fibrous agroindustrial by-products in pig diets: effects on nutrient balance and gas emission. *10.3920/9789086867998\_684*.

Cruz, C. (2014). Requerimientos nutricionales cuyes, conejos y cerdos. Recuperado de: <https://norumiantesiasa1.blogspot.com/2014/08/requerimientos-nutricionales-cuyes.html>

Diao, H., Jiao, A., Yu, B., He, Y., Zheng, P. (2020). Beet Pulp: An Alternative to Improve the Gut Health of Growing Pigs. *10(10)*. <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/10/1860>

FAO. (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://doi.org/10.4060/cb1447>

FEDNA. (2016). Pulpa de remolacha. Recuperado de: [https://fundacionfedna.org/subproductos\\_fibrosos\\_humedos/pulpa-de-remolacha](https://fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-remolacha)

FEDNA. (2020). Pulpa de cítricos. Recuperado de:  
[https://www.fundacionfedna.org/subproductos\\_fibrosos\\_humedos/pulpa-de-c%C3%ADtricos#%3A~%3Atext%3DLa%20pulpa%20resultante%20est%C3%A1%20formada%20Celevada%20\(49%20a%2069%25\)](https://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-c%C3%ADtricos#%3A~%3Atext%3DLa%20pulpa%20resultante%20est%C3%A1%20formada%20Celevada%20(49%20a%2069%25))

Fernandes, A. (2015). Ammonia and methane gas emissions from pig slurry: variability induced through feeding strategies.  
[https://oa.upm.es/39033/1/AMANDA\\_FERNANDES\\_BECCACCIA.pdf](https://oa.upm.es/39033/1/AMANDA_FERNANDES_BECCACCIA.pdf)

Ferrer, P., García, P., Calvet, S. (2021). 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.  
[https://www.researchgate.net/publication/349013669\\_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](https://www.researchgate.net/publication/349013669_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)

García Galicia, I., Albarracín-González, M., y López-Rivera, S. (2021). Sostenibilidad y evaluación económica del uso de subproductos agroindustriales en la alimentación porcina. Journal of Animal Science, 99(3) , 1-9 . <https://doi.org/10.1093/jas/skab021>

González, B. (2012). La caña de azúcar en la alimentación de cerdos. Sitio Argentino de Producción Animal. [Archivo PDF]. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/00-produccion\\_porcina\\_gene%20ral/35-cania\\_azucar.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_gene%20ral/35-cania_azucar.pdf)

Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S., (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub>. Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177. FAO, Roma, Italia, Roma.  
<https://www.fao.org/4/i3288s/i3288s.pdf>

Huerta-Toral, P., García-Salinas, R., y Mendoza-Villareal, R. (2023). Ingredientes locales para piensos y su papel en la reducción del impacto ambiental de la producción ganadera. *Journal of Environmental Sustainability*, 25 ( 1) , 74-88 .  
<https://doi.org/10.1007/s12325-022-00456-7>

Jaurena, G., Juliarena, P., y Errecart, P. M. (2019). Causas y determinantes de las emisiones de gases de efecto invernadero en la ganadería. *VOL 39 (2)* 43-60.  
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/119864>

Jeffrey, V., López, F., Moreno, C. Z., V., Clara, R., Rodríguez, M., M., Oliva, M., & Galindo, R. (2021). El cambio climático y la variabilidad climática en el contexto colombiano. [https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2024/01/Guia\\_-de-cambio-climatico-web.pdf](https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2024/01/Guia_-de-cambio-climatico-web.pdf)

Le Dinh P, van der Peet-Schwering CMC, Ogink NWM, Aarnink AJA. (2022). Effect of Diet Composition on Excreta Composition and Ammonia Emissions from Growing-Finishing Pigs. *Animals*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8833395/>

Martínez, J. A., Figueroa, J. Sánchez, M. T., Cordero, J. L. (2022). Elaboración de alimentos balanceados bajo el concepto de dietas bajas en proteína en la industria porcícola. <https://agrodivulgacioncolpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/37/48>

Moreno Ayala, L., & Cadillo Castro, J. (2018). Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Canales Científicos*, 79(2), 415.  
<https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>

Oenema, O., Velthof, G., y Witzke, H. (2021). Emisiones de amoníaco de la ganadería: impactos en la salud y el medio ambiente. *Journal of Environmental Management*, 296(1), 113-122 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113033>

Orrala Aquino Kevin Steven. (2021). Manejo de excretas de origen porcino en la

comuna san pedro, parroquia manglaralto provincia de santa elena. Universidad Estatal  
Península de Santa Elena, 40.

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6325/1/UPSE-TIA-2021-0060.pdf>

Pinos, J. M., García, J. C., Peña, L. Y., Rendón, J. A., González, C., Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. 12: 1-12. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n4/v46n4a4.pdf>

Rodríguez León, L. D., Ordoñez Vásquez, K. M., & Quizhpe Cordero, P. F. (2019). Estrategias para mitigar el impacto ambiental generado por la porcicultura hacia la contribución del desarrollo sostenible: Sitio Banasur, cantón Pasaje. Polo Del Conocimiento, 4(8), 51. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i8.104346.4>

Rodríguez, M. P. (2013). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas de producción porcina confinada en Colombia y alternativas de mitigación. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10621/PROYECTO%20GRADO%20ENERO%202014.pdf?sequence=1>

Rubio, J. A., Diaz, M., Vargas., Duque, C. F. (2023). Digestibilidad de dietas con pulpa cítrica deshidratada para conejos en etapa de engorde. 34(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v34n1/1609-9117-rivep-34-01-e22962.pdf>

Sagaró, F., y Ferrer, E. (2021). Alimentación para cerdos de ceba en condiciones locales de agricultura familiar. vol (1) 4, pp. 22-35. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181371071012/>

Skoufos I, Nelli A, Venardou B, Lagkouvardos I, Giannenas I, Magklaras G, Zacharis C, Jin L, Wang J, Gouva E, Skoufos S, Bonos E, Tzora A. (2023). Use of an Innovative Silage of Agro-Industrial Waste By-Products in Pig Nutrition: A Pilot Study of Its Effects on the Pig Gastrointestinal Microbiota. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10384456/>



**Tabla 1. Composición química del estiércol sólido porcino**

MO %	Humedad %	pH	CE dS/m	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %
80.86	26.23	6.36	6.27	2.04	6.1	1.63	3.98
MgO %	Na %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	
2.0	0.23	29	385	1580	488	1417	

CE: Conductibilidad Eléctrica

MO: Materia Orgánica

*Nota.* La tabla muestra la composición química del estiércol porcino en MO (%), Humedad (%), pH, Conductividad eléctrica, N (%), óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), óxido de potasio (K<sub>2</sub>O), Óxido de calcio (CaO). (Moreno Ayala & Cadillo Castro, 2018).

**Tabla 2. Producción de excretas según estado fisiológico de los cerdos**

Etapa animal	Peso (kg)	Producción de excretas (l/día)	Sólidos totales (kg/día)	Sólidos volátiles (kg/día)	N (kg/día)	P (kg/día)	K (kg/día)
<b>Cría</b>	16	1	0.09	0.08	0.01	0.01	0.01
<b>Recría</b>	29	1.8	0.18	0.14	0.01	0.01	0.01
<b>Engorde</b>	68	4.3	0.41	0.33	0.03	0.02	0.02
<b>Gestación</b>	125	4.2	0.37	0.30	0.03	0.02	0.02
<b>Maternidad</b>	170	15.1	1.36	1.09	0.10	0.08	0.08
<b>Verraco</b>	159	5.3	0.45	0.39	0.04	0.03	0.03

*Nota.* La producción de excretas (l/día) es mayor en la etapa de maternidad con 15,1 litros diarios, de la misma manera tiene una mayor producción de N, P y K (Sosa, 2015., citado en Orrala, 2021).

**Tabla 3. Requerimientos nutricionales en cerdos**

<b>Fase terminación machos</b>		
<b>Nutriente</b>	<b>Terminación 50 - 80 kg</b>	<b>Terminación 80 - 105 kg</b>
E. Met. (Kcal/Kg)	3230	3200
Proteína (%)	16	15,00
Lisina (%)	1,00	0,85
Calcio (%)	0,75	0,70
Fósforo Disp. (%)	0,30	0,28
<b>Fase terminación hembras</b>		
<b>Nutriente</b>	<b>Terminación 50 - 80 kg</b>	<b>Terminación 80 - 105 kg</b>
E. Met. (Kcal/Kg)	3250	3250
Proteína (%)	17	16,00
Lisina (%)	1,04	0,95
Calcio (%)	0,75	0,70
Fósforo Disp. (%)	0,30	0,28

(Cruz, 2014)

**Tabla 4. Composición nutricional de la pulpa cítrica**

<b>Componente</b>	<b>Valor nutricional</b>
Materia seca (%)	20
Carbohidratos solubles (%)	20
Pectinas (%)	30
Energía metabolizable (Mcal)	2,67
Proteína bruta (%)	7,64
Extracto etéreo (%)	2,6
Fibra bruta (%)	18,3

Carbohidratos no fibrosos (%)	58,5
Digestibilidad (%)	85

(Ferrer et al., 2021 y FEDNA, 2020)

**Tabla 5. Composición química del jugo de caña de azúcar**

Nutrientes	Díaz (1999)	Ly (1996)	Vélez (1986)	Almazán et al (1982)
Materia Seca (%)	15	25,7	23,75	21,2
ED (Kcal/Kg)	3173	.....	.....	.....
Nitrógeno x 6,25 (%)	.....	.....	0,19	0,05
Azucares Totales (%)	.....	24,4	.....	20,5
Cenizas (%)	.....	0,3	0,93	0,3
Calcio (%)	0,10	.....	0,017	.....
Fósforo (%)	0,80	.....	0,064	.....

(Gonzales, 2012)

**Tabla 6. Composición nutricional caña de azúcar**

Componente	Valor nutricional
Solidos totales (%)	15 - 20
Azucares solubles (%)	80
Energía bruta (Kcal/Kg/MS)	3850
Energía digestible (Kcal/Kg/MS)	3670
Energía metabolizable (Kcal/Kg/MS)	3540
Materia seca (%)	21
Sacarosa (%)	14,8

(González, 2012)

<b>Componente</b>	<b>Valor nutricional</b>
Fibra bruta (%)	19
Fibra detergente neutra (%)	44
Fibra detergente acida (%)	24
Lignina (%)	2 - 4
Proteína bruta (%)	7 - 10
Materia seca (deshidratada) (%)	20 - 25

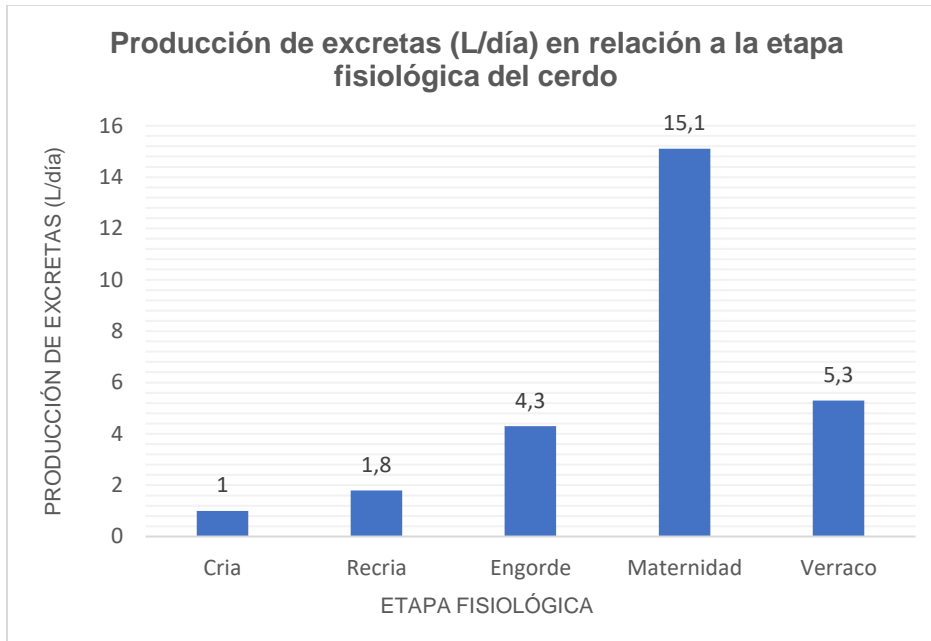
**Tabla 7. Composición nutricional de la remolacha**

<b>Componente</b>	<b>Valor nutricional</b>
Fibra bruta (%)	19
Fibra detergente neutra (%)	44
Fibra detergente acida (%)	24
Lignina (%)	2 - 4
Proteína bruta (%)	7 - 10
Materia seca (deshidratada) (%)	20 - 25

(Calvet et al., 2015)

## Figuras

Figura 1. Producción de excretas (L/día) en relación a la etapa fisiológica del cerdo

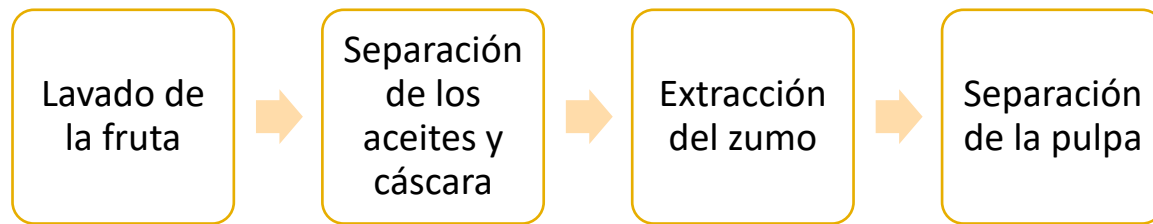


Nota. La producción de excretas (l/día) es mayor en la etapa de maternidad con 15,1 litros diarios, de la misma manera tiene una mayor producción de N, P y K.

Figura 2. Ciclo del nitrógeno

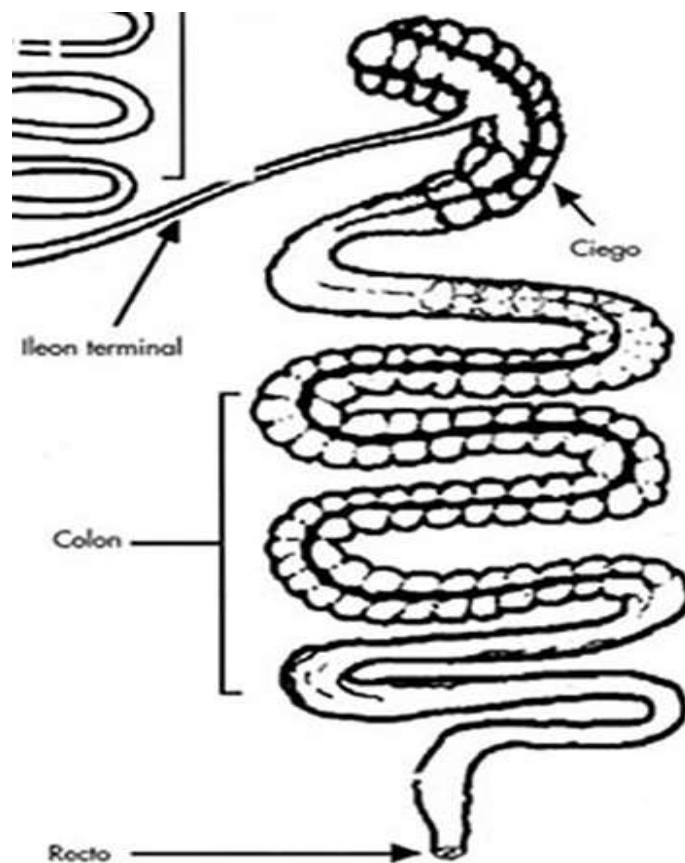


**Figura 3. Proceso de extracción de la pulpa cítrica**



(Ferrer et al., 2021)

**Figura 4. Colon y ciego del cerdo**



Nota. En los cerdos, la fermentación ocurre principalmente en el intestino grueso, específicamente en el ciego y el colon. Estos órganos contienen una microbiota rica en bacterias que fermentan los carbohidratos no digeridos y las fibras fermentables presentes en la dieta. Este

proceso produce ácidos grasos volátiles (AGV) como el acetato, propionato y butirato, que pueden ser utilizados como fuente de energía por el animal.

**ACUERDO 027 DEL 16 DEL 16 DE DICIEMBRE DE 2021  
ARTÍCULO 46.- OPCIONES DE TRABAJO DE GRADO  
MODALIDAD ARTÍCULO PUBLICABLE (REVISIÓN)**

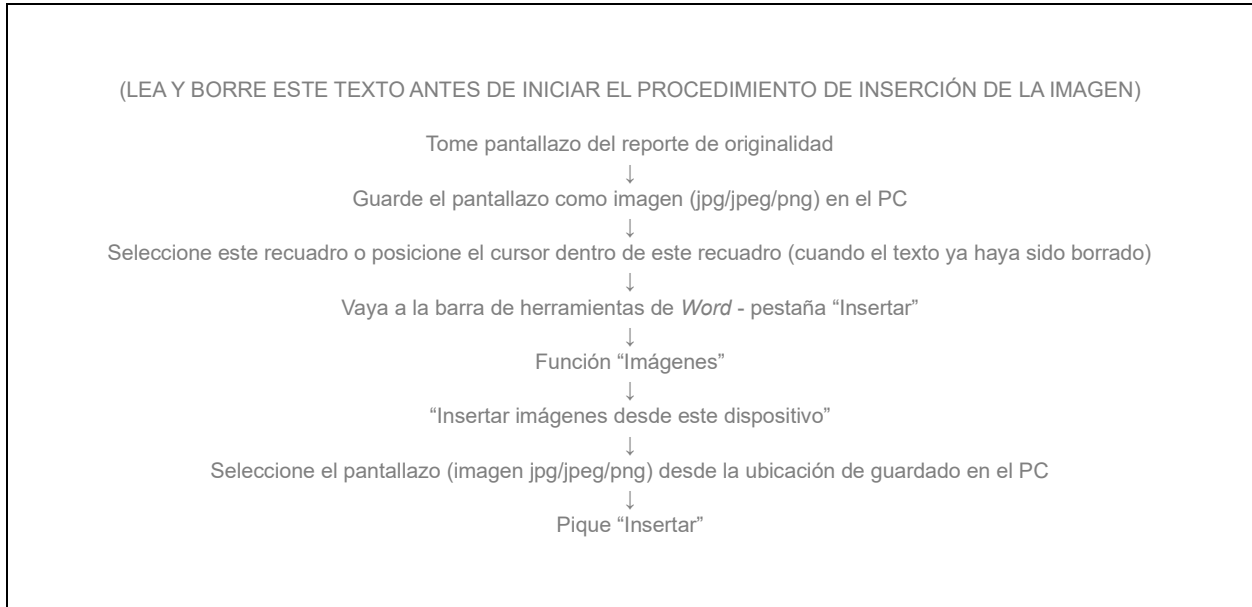
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Programa de Zootecnia (Acreditado Alta Calidad Res. MEN 009412 de 2022)**

Evidencia anti-plagio - *Turnitin*

<b>ARTÍCULO 61.- DEBERES</b>
13. No cometer fraude académico o plagio en las pruebas de evaluación, exámenes o trabajos escritos presentados en desarrollo del proceso de aprendizaje y formación, así como el respeto a la propiedad intelectual.

<b>ARTÍCULO 62.- FALTAS</b>
1. El fraude: c. Utilizar citas o referencias falsas o registrar indebidamente referencias que no coincidan con las citas. d. Presentar como de su propia autoría la totalidad o parte de una obra, trabajo, documento o invención realizados por otra persona; incorporar un trabajo ajeno en el propio de tal forma que induzca a error al observador o lector en cuanto a la autoría del mismo.

Inserte una evidencia<sup>1</sup> del índice de similitud (%) arrojado por la herramienta *Turnitin* ↓



<b>0% - 25%</b>
<b>Permitido</b>
El documento se puede entregar y radicar como propuesta (anteproyecto).

<b>&gt;25%</b>
<b>No permitido</b>
El documento no se puede entregar ni radicar como propuesta (anteproyecto). Se hace obligatoria la revisión exhaustiva de este por parte del estudiante y el director para hacer los ajustes pertinentes.

<sup>1</sup> Procedimiento: tome pantallazo del reporte de originalidad → Guarde el pantallazo como imagen (jpg/jpeg/png) en el PC → seleccione el recuadro o posicione el cursor dentro del recuadro (cuando el texto ya haya sido borrado) → Vaya a la barra de herramientas de Word - pestaña "Insertar" → función "Imágenes" → "Insertar imágenes desde este dispositivo" → seleccione el pantallazo (imagen jpg/jpeg/png) desde la ubicación de guardado en el PC → pique "Insertar".