

Valor alimenticio del sorgo y granos de sorgo seco de destilería con solubles para cerdos

Introducción

El grano de sorgo es un alimento con un excelente valor nutricional para los cerdos. Muchos ensayos de alimentación con cerdos de crianza y finalización de cerdos y cerdas gestantes y lactantes en los últimos 20 años han demostrado el valor alimenticio del sorgo con respecto al maíz y otros granos. Se ha demostrado en las investigaciones que el grano de sorgo contiene 96 por ciento del contenido energético del maíz. Sin embargo, en datos recientes se ha demostrado que cuando se procesa correctamente y se balancea para concentraciones de aminoácidos digestibles y fósforo disponibles, el grano de sorgo tiene un valor alimenticio superior al valor del 96 por ciento del maíz. El grano de sorgo puede reemplazar el maíz, el trigo o la cebada como fuente de granos de cereales para toda clase de dietas para cerdos. Mientras que, desde un prospecto de calidad de grasa en la canal, el sorgo tiene un valor de grasa y energético ligeramente menor que el maíz, es una cualidad positiva ya que los cerdos alimentados con sorgo tienen un depósito de grasa de la canal más firme. Esto ofrece una ventaja relativa con el maíz para los procesadores de tocino y en muchos mercados de carne de cerdo fresca.

Apenas recientemente se llevaron a cabo investigaciones con DDGS de sorgo; sin embargo, los datos indican que se puede lograr una tasa de crecimiento similar con dietas que contienen DDGS de sorgo que con dietas de DDGS de maíz o de pasta de soya y maíz sin DDGS. Al igual que la comparación entre los granos de origen, los DDGS de sorgo tiene un nivel energético ligeramente más bajo que los DDGS de maíz debido a un contenido más bajo de grasa.

El grano de sorgo y DDGS de sorgo proporcionan una excelente oportunidad para los productores de cerdo o de proveedores de alimentos de costos de alimentos balanceados más bajos. A medida que entendemos el procesamiento del alimento y ha aumentado el perfil de nutrientes del grano de sorgo, hay más oportunidades para el uso ampliado de sorgo a fin de explotar todo su potencial en dietas para cerdos.

Valor alimenticio del grano de sorgo

Composición del grano de sorgo

El grano de sorgo puede reemplazar por completo al maíz, trigo o cebada en todas las dietas para cerdos. Una consideración importante cuando se utilizan dietas de granos de sorgo es su contenido energético y de lisina ligeramente inferior en relación con el maíz (Tabla 1). Sin embargo, el sorgo contiene una mayor cantidad de fósforo disponible que de maíz. Si bien el grano de sorgo se sustituye con frecuencia sobre una base de peso equitativo con el maíz, se puede realizar un ligero ajuste de la pasta de soya o aminoácidos sintéticos y fósforo suplementario para aprovechar al máximo la composición de los nutrientes del grano de sorgo. Por lo tanto, cuando se utiliza grano de sorgo, es muy importante usar el contenido de aminoácidos digestibles ileales estandarizados (*standardized ileal digestible*, SID) y los valores de fósforo disponible en la formulación de dietas.

Perfil de aminoácidos

El sorgo contiene más aminoácido triptófano limitante que el maíz. Por lo tanto, se puede usar una mayor cantidad de suplemento de aminoácidos como la lisina, metionina y treonina para reemplazar la pasta de soya en la dieta. Esta ventaja permite opciones de una formulación de dieta potencialmente menos costosas con dietas a base de granos de sorgo que con maíz. El SID de los aminoácidos es ligeramente inferior a los niveles de maíz (Tabla 2). Debido a la expansión del uso de dietas fortificadas con aminoácidos sintéticos en la industria porcina, hay una mayor ventaja económica para el grano de sorgo en las dietas de cerdos que con el maíz.

Valor energético

El menor contenido energético grano de sorgo en relación con el maíz es un resultado del contenido más bajo de grasa del sorgo. Como resultado, los cerdos alimentados con dietas de sorgo por lo general tienen una eficiencia alimenticia de 1 a 2 más baja que aquellos alimentados con maíz. Un factor esencial para maximizar el contenido energético digestible de sorgo es el procesamiento de alimentación adecuada. El grano de sorgo tiene un pequeño núcleo duro que hace fundamental el procesamiento apropiado a fin de obtener el tamaño óptimo de las partículas. Se ha demostrado en investigaciones que el molido fino del grano de sorgo puede aumentar el contenido energético digestible en un 3 por ciento en comparación con el molido grueso¹. Moler el grano de sorgo de un tamaño de partícula de 900 micras a 500 micras mejora la eficiencia alimenticia en un 6 por ciento. No parece que haya diferencias en el valor nutricional para el cerdo de variedades de grano de sorgo de diversos colores o dureza.

Fósforo disponible

Una característica importante desde el punto de vista económico y ambiental es que el grano de sorgo contiene más fósforo que el maíz. Por lo tanto, las dietas formuladas con grano de sorgo requieren menos fósforo inorgánico suplementario (fosfato monocálcico o dicálcico). Como resultado, habría menos fósforo excretado en los desechos del cerdo, un factor que beneficia al ambiente. Esto también mejora la ventaja económica del grano de sorgo en comparación con el maíz en dietas para cerdos.

Perfil de ácidos grasos

El menor contenido de grasa del sorgo en comparación con el maíz, además de un perfil de ácidos grasos más favorable, ofrece al sorgo una clara ventaja sobre el maíz en la mejora de la calidad de grasa de cerdo. El perfil de ácidos grasos de la dieta proporcionada a los cerdos influye en el valor de yodo en la grasa de la canal de los cerdos, que es una medida de la grasa de la canal. La calidad de la grasa es muy importante en la industria de procesamiento de carne de cerdo actual. Se discriminan los productos de cerdo con grasa blanda, más ácidos grasos insaturados, porque se pueden ranciar más rápido y es más difícil rebanar el estómago para tocino debido a que la grasa tiene una mayor tendencia a “embarrarse” que resulta en un producto menos deseable. La grasa contenida en el sorgo tiene menos ácidos grasos insaturados, como se observa con el menor contenido de ácido linoleico del

sorgo (Tabla 1). Por tanto, los cerdos alimentados con dietas de sorgo deben tener grasa más firme y un índice de yodo más bajo que los cerdos alimentados con dietas de maíz.

Se confirma en investigaciones las ventajas del sorgo en comparación con el maíz en cuanto a la calidad de la grasa. Los cerdos alimentados con sorgo presentaron menos ácido linoleico y una menor proporción de ácido grasos poliinsaturados a ácidos grasos saturados en la grasa dorsal y la grasa de la papada de grasa que los cerdos alimentados con maíz² (Tabla 3). Más importante aún, el índice de yodo fue menor para los cerdos alimentados con sorgo que para los alimentados con maíz, lo que confirma que los cerdos alimentados con dietas de sorgo tenían grasa más firme que los alimentados con maíz. Otra ventaja de la baja del índice de yodo de sorgo en grano es que permite una mayor flexibilidad en la formulación de dietas. Los nutricionistas pueden agregar ingredientes de coproductos generalmente altos en índice de yodo, como los granos secos de destilería con solubles o con grasa adicional y seguir manteniendo los valores de yodo más bajos en comparación con las dietas de maíz que contengan la misma cantidad de dichos coproductos.

En resumen, el grano de sorgo tiene muchos atributos que mejoran su valor nutricional para los cerdos. El grano de sorgo tiene un perfil de aminoácidos digestibles favorable, contenido de fósforo disponible, y perfil de ácidos grasos para las dietas de cerdos. Cuando se procesa correctamente, la concentración energética también es mayor a la esperada.

Resumen de los ensayos de alimentación con sorgo en relación con el maíz

Cercos de crianza

El almidón obtenido de los cereales es el principal componente que libera energía de la dieta de cerdos destetados, donde contribuye con más del doble de la energía digestible en comparación con la de grasa de la dieta. El maíz es el cereal más utilizado habitualmente en la dieta de los lechones debido a su amplia disponibilidad, bajo en fibra y alto contenido energético. Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que el sorgo se puede utilizar con éxito para reemplazar el maíz en la dieta de crianza.

En un resumen de estudios de crianza donde se compara el sorgo con las dietas de maíz (Tabla 4), el valor promedio relativo del sorgo fue de 98, 99 y 99 por ciento del valor del maíz para ADG, ADFI y G: F, respectivamente^{1,3-6}. En general, la alimentación de sorgo para cerdos destetados no tuvo ningún efecto sobre la eficiencia alimenticia. Sin embargo, hubo una variación importante en las respuestas de GDP y ADFI al sorgo para alimento entre los estudios y se compararon con los estudios en cerdos en crecimiento y de finalización. En un experimento, los investigadores de un estudio observaron menor ADFI y ADG en cerdos destetados alimentados con sorgo. Sin embargo, en un experimento subsiguiente, la alimentación con sorgo mejoró el ADFI y ADG³. Otros investigadores compararon el sorgo duro y blando con el maíz en las dietas de crianza con dos variedades de sorgo cuyo resultado fue un menor ADFI y ADG en comparación con los cerdos alimentados con dietas de maíz¹. Por el contrario, otro estudio mostró un mayor ADG y mejor eficiencia de alimentación en el sorgo para alimentar a cerdos de crianza en comparación con el maíz⁴. En estudios más recientes no se observaron diferencias en ADG, ADFI y G:F entre los cerdos de crianza alimentados con sorgo y las dietas de maíz⁵⁻⁶.

Cerdos en crecimiento y de finalización

Un resumen de 1985 con 10 experimentos de crecimiento y finalización informó que los cerdos alimentados con sorgo tuvieron un 98 por ciento de ADG y 97 por ciento de G:F de cerdos alimentados con maíz⁷. Sin embargo, estudios más recientes revelan un mayor valor alimenticio para el sorgo en cerdos de finalización de lo antes atribuido⁸⁻¹³. En promedio, estos estudios muestran que los cerdos alimentados con sorgo tienen un 103, 106 y 98 por ciento de ADG, ADFI y G:F de los cerdos de terminación alimentados con maíz (Tabla 5). Las mejoras observadas en el valor relativo de sorgo puede deberse principalmente a la introducción y uso generalizado de variedades cultivadas de sorgo y un mejor conocimiento del procesamiento de las dietas de sorgo. En general, se puede usar el grano de sorgo para reemplazar el maíz sin que afecte el rendimiento de crecimiento de los cerdos de finalización.

Anteriormente, el sorgo para la alimentación de cerdos de finalización en general no afectaba las características de la canal⁹⁻¹¹. Sin embargo, en un estudio más reciente se observó que los cerdos alimentados con sorgo suelen tener un menor rendimiento, porcentaje de magra y el dorsal de la 10^a costilla más gruesa en comparación con los alimentados con dietas de maíz². El menor rendimiento de la canal y lo magro de los cerdos alimentados con sorgo observados en este estudio puede deberse a una mayor energía o la absorción del alimento en comparación con los cerdos alimentados con maíz, que puede dar como resultado más grasa en la canal.

Cerdas

La investigación para evaluar el valor del sorgo para la alimentación de las cerdas es limitado. Un estudio de investigación de alimentos con dietas de sorgo o maíz para cerdas en gestación y no se observaron diferencias en el rendimiento de la cerda o el desecho. Sin embargo, los resultados variaron cuando el sorgo se compara con el maíz en la dieta de lactancia (Tabla 6)^{14,15}. En un estudio, las cerdas alimentadas con sorgo tuvieron menos ADFI que las cerdas alimentadas con maíz, lo que resultó en una tendencia de un menor peso de la camada destetada y disminución del aumento de peso de la camada¹⁴. Por el contrario, en un estudio de investigación independiente no se observaron diferencias significativas en la lactancia de ADFI y el rendimiento de la camada entre las cerdas alimentadas con sorgo o maíz¹⁵. El sorgo para alimentación no afectó el cambio de peso en la lactancia, el intervalo destete al celo o el tamaño de la camada al destete en cualquiera de los estudios^{14,15}. Aunque se necesita más investigación para determinar correctamente el valor del sorgo en dietas de las cerdas, sorgo para la alimentación de cerdas por lo general puede respaldar un nivel de desempeño reproductivo igual al alimento con maíz.

Procesamiento de sorgo

Una de las claves para desentrañar el valor nutritivo del sorgo es el procesamiento adecuado del alimento. Al igual que con cualquier ingrediente alimenticio suministrado a los cerdos, el procesamiento del alimento y tamaño final de las partículas es esencial para la correcta utilización de nutrientes de los ingredientes. El grano de sorgo no es diferente. El grano de sorgo tiene un núcleo pequeño y es muy duro en comparación con el maíz. Por lo tanto, la alteración del núcleo intacto y la

exposición de mayor área de superficie es esencial para mejorar la digestibilidad del cerdo. Es posible que en los últimos 15 años nuestros conocimientos del procesamiento adecuado del alimento de sorgo puede ser una de las razones por las que ha aumentado en los experimentos más recientes su valor nutricional en relación con el maíz (Tablas 4, 5 y 6).

Se ha evaluado en investigaciones el rendimiento de crecimiento de cerdos destetados a los 21 días de edad y alimentados con dietas de iniciación en las que el grano, maíz y sorgo de endospermo duro o blando, se muele a 900, 700, 500 o 300 micras¹. En este estudio, la reducción del tamaño de las partículas tuvo muy poco impacto sobre la ganancia diaria promedio, pero, conforme se reduce el tamaño de las partículas, se observa una mejora (cuadrático, $P < 0.01$) en la eficiencia alimenticia. Los cerdos alimentados con grano molido a 500 micras mostraron una mejora de 6 por ciento en la eficiencia alimenticia en comparación con los cerdos alimentados con dietas de grano molido a 900 micras. Sin embargo, también es importante tomar en cuenta la tendencia de la G:F más baja de los cerdos alimentados con dietas de grano molido a 300 micras. Por lo tanto, estos y otros datos sugieren un tamaño de partículas de la dieta de aproximadamente 500 a 600 micras o se necesita moler lo más fino posible pero manteniendo la capacidad del flujo de la dieta a través de sistemas de alimentación automática para optimizar el rendimiento de cerdo y la eficiencia de la molienda.

Anteriormente consideramos que era suficiente un molino de martillo o un molino de rodillos para moler el sorgo. Cada tipo de planta tiene sus propias ventajas y desventajas. Con los molinos de martillo, el tamaño de un grano pequeño de sorgo requiere una pequeña malla (1/8 de pulgada) con el fin de alcanzar el tamaño de partículas objetivo. Una desventaja de moler el sorgo con un molino de martillo es que tendrá una mayor desviación estándar de las partículas. Esto significa que la distribución de las partículas será más amplia que grano molido con un molino de rodillos. Un molino de rodillos tenderá a rebanar el grano, produciendo una partícula más uniforme y con menos desviación estándar o polvo. Se recomienda que los rodillos en un molino de rodillos tenga de 14 a 16 ondulaciones por pulgada para ayudar al rebanado. Debido a que el grano molido con un molino de rodillos tiene una forma y distribución más uniforme, se ha demostrado en investigaciones que tendrá una mayor capacidad de flujo que el grano molido con un molino de martillos. Lo anterior es especialmente importante a medida que procesamos los granos a tamaños de partícula más finos para maximizar el crecimiento y la eficiencia alimenticia. El flujo más libre del grano también permitirá que los nutricionistas de la posibilidad de agregar más coproductos como grasa añadida a la dieta y mantener aún la capacidad del flujo de la dieta.

Recomendación de alimentación para grano de sorgo

El grano de sorgo puede reemplazar al maíz, trigo o cebada en dietas para todas las clases de cerdos. Debido a su perfil de nutrientes, incluyendo mayores cantidades de triptófano digestibles y fósforo disponible, ofrece a los nutricionistas oportunidades diferentes para la formulación de dietas. Una opción sería simplemente reemplazarlo en un peso igual al maíz y asignar la mayor cantidad de fósforo disponible, reduciendo la cantidad de fósforo monocalcico en la dieta (Tabla 7, Opción 1). Esta es la opción de sustitución más simple, pero toma en cuenta el menor valor nutricional del grano de sorgo. La segunda opción de dieta toma en cuenta la mayor digestibilidad de aminoácidos y el contenido de

fósforo disponible de grano de sorgo con respecto al maíz (Tabla 7). Esta opción de dieta contiene mayores cantidades de aminoácidos cristalinos y menos pasta de soya y fosfato monocalcico. Aprovecha al máximo la alta concentración de triptófano digestible del grano de sorgo y permite un mayor uso de aminoácidos cristalinos, por lo tanto reduce la cantidad de pasta de soya en la dieta. Por último, la tercera opción agrega una pequeña cantidad de grasa a la dieta para equilibrar el contenido energético de la dieta (Tabla 7). En esta opción, las dietas de maíz y sorgo no sólo contienen la misma fortificación de los aminoácidos, sino también un contenido energético idéntico. Por lo tanto, los nutricionistas tienen muchas opciones para aprovechar la versatilidad del sorgo en la formulación de la dieta.

En conclusión, las investigaciones recientes con cerdos de crianza y de crecimiento y terminación muestran un mejor valor nutricional y alimenticio del grano de sorgo que los estudios realizados en las décadas de 1970 y 1980. Es probable que haya un mayor valor alimenticio debido a que se conocen mejor los ácidos aminoácidos digestibles y el fósforo disponible contenidos en el grano de sorgo, así como las mejoras en el procesamiento del alimento. Un resumen de los estudios con cerdos de crianza muestra un valor alimenticio de 98 a 99 por ciento para el sorgo comparado con el maíz. Donde el grano de sorgo anterior se valuó a 96 por ciento del valor del maíz, ahora parece que el sorgo tiene un valor alimenticio mayor que antes. Además, la flexibilidad del sorgo en la formulación de las dietas ofrece a los nutricionistas la capacidad de reducir los costos de la dieta y mantener un rendimiento de crecimiento similar de los cerdos.

Valor alimenticio de DDGS de sorgo

En los últimos años ha aumentado la utilización de grano de sorgo como materia prima para la producción de etanol y podría ser una contribución importante a las necesidades de etanol para combustible de la nación. El contenido de almidón y la producción de etanol del sorgo en grano es comparable con el del maíz¹⁶. Actualmente, alrededor de un 2.5 por ciento de etanol para combustible se produce a partir del sorgo. Sin embargo, el porcentaje anual de la producción de sorgo utilizado para el etanol ha incrementado constantemente del 11 por ciento en 2004 a cerca del 29 por ciento en 2009^{16,17}. El objetivo del programa Checkoff de sorgo es aumentar en 2011 la tasa de inclusión de grano de sorgo en etanol a 50 por ciento. Estas tendencias indican que el suministro de coproductos, como granos secos de destilería con solubles de sorgo (DDGS), se incrementarán con la creciente demanda de grano de sorgo para la producción de etanol. En la actualidad, la investigación sobre el valor alimenticio de los DDGS de sorgo en dietas para cerdos es limitada. Sin embargo, los datos disponibles indican que los DDGS de sorgo pueden ofrecer algunas ventajas en comparación con el DDGS de maíz para los cerdos.

Composición de DDGS de sorgo en comparación con los DDGS de maíz

Composición química

En promedio, los DDGS de sorgo tienen mayor proteína cruda (PB), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), así como reducir la grasa cruda de los DDGS de maíz. Esto es un reflejo de las diferencias en la composición química del grano de sorgo y el maíz utilizados para producir etanol (Tabla 8). El contenido de Ca y P total de los DDGS de sorgo son similares al DDGS de maíz.

Perfil de los aminoácidos

Las diferencias en la composición química entre el grano de sorgo y el maíz también se reflejan en el contenido de aminoácidos de los DDGS de sorgo y DDGS de maíz (Tabla 9). En promedio, los DDGS de sorgo es más alto en lisina total, isoleucina, leucina, fenilalanina y valina, aunque es semejante en el total de arginina, histidina, metionina, treonina y triptófano en comparación con los DDGS de maíz.

En la actualidad, la investigación para determinar la digestibilidad de los aminoácidos de los DDGS de sorgo se limita a un solo estudio. El estudio reveló que el SID de la lisina en los DDGS de sorgo y DDGS de maíz son similares, mientras que los valores de SID de la mayoría de los aminoácidos, excepto isoleucina, treonina, triptófano y valina son menores en los DDGS de sorgo que en los DDGS de maíz¹⁸ (Tabla 10). En estudios recientes también se demostró que el grano de sorgo tiene menor SID de los aminoácidos que el maíz¹⁹⁻²¹, lo cual puede ser el resultado de un mayor contenido de componentes de fibra (FDN, FDA) y menor contenido de aceite en el sorgo en comparación con el maíz. Por lo tanto, los DDGS de sorgo tienen mayor contenido digestible de lisina, treonina, triptófano, isoleucina, leucina, fenilalanina y valina, semejante a la arginina, y menor contenido de metionina e histidina en comparación con los DDGS de maíz.

Valor energético

La energía bruta (EB) de los DDGS de sorgo es similar a la de los DDGS de maíz. Sin embargo, la digestibilidad de la EB es menor en los DDGS de sorgo. En un estudio reciente se informó que la digestibilidad aparente en tracto total de EB de los DDGS de maíz es de 73.9 a 82.8 por ciento, con un promedio de 76.8 por ciento²². El promedio de digestibilidad de EB de los DDGS de sorgo fue de 74 por ciento, que es inferior a la media pero dentro del rango de los DDGS de maíz (Tabla 11). La menor digestibilidad de la energía en los DDGS de sorgo puede ser debido a su mayor concentración de componentes de fibra en comparación con los DDGS de maíz. Tanto la energía digestible y metabolizable de los DDGS de sorgo fue inferior a los DDGS de maíz, que es el 96 por ciento de los valores de los DDGS de maíz. Esto refleja la misma diferencia en el valor energético entre el grano de sorgo y el maíz.

Fósforo disponible

Una de las ventajas del uso de los DDGS del maíz en las formulaciones dietéticas es su alto contenido de fósforo y la biodisponibilidad de fósforo en comparación con el maíz de grano. Al igual que los DDGS de maíz, la concentración de fósforo en los DDGS de sorgo es mayor que el grano de sorgo, es de 0.62 a 0.81 por ciento. La biodisponibilidad de fósforo en los DDGS de maíz es de 70 a 90 por ciento en relación con fosfato dicálcico²³⁻²⁴. La digestibilidad aparente en tracto total de fósforo en los DDGS de

maíz va de 50 a 68 por ciento, que es aproximadamente el 59 por ciento en promedio²². Sin embargo, los datos sobre la biodisponibilidad de fósforo en los DDGS de sorgo es limitado. Un evaluó la utilización de fósforo en los DDGS de sorgo en cerdos en crecimiento utilizando el ensayo de relación de pendientes y el estudio de digestibilidad²⁵. Los valores de biodisponibilidad de fósforo del ensayo de relación de pendientes fueron del 80 por ciento en relación con el fosfato monosódico para una fuente de los DDGS de sorgo y 60 por ciento de otras dos fuentes. La digestibilidad aparente en tracto total de fósforo de las tres fuentes de DDGS de sorgo fueron de 57 a 58 por ciento. En general, los DDGS de sorgo tuvieron mayor biodisponibilidad de fósforo en comparación con el grano de sorgo. Aunque se necesita más investigación, la biodisponibilidad de fósforo en los DDGS de sorgo puede ser similar a los DDGS de maíz.

Perfil de ácidos grasos

Casi el 50 por ciento de los ácidos grasos en los DDGS de sorgo es ácido linoleico (C18:2n6)²⁶. Otros ácidos grasos importantes en los DDGS de sorgo es el ácido oleico (C18:1n6; 28 por ciento) y ácido palmítico (C16: 0; 17 por ciento). Esto es de esperar ya que el ácido linoleico es de 28 a 51 por ciento de los ácidos grasos en el aceite obtenido del sorgo²⁷. Sin embargo, el contenido de ácido linoleico del aceite de maíz es de 40 a 70 por ciento de los ácidos grasos totales²⁸ y, con el mayor contenido de grasa en los DDGS de maíz, puede tener mayores efectos sobre el valor del yodo de grasa de la canal que el uso de los DDGS de sorgo. Por lo tanto, cuando se añade a las dietas de terminación, los DDGS de sorgo se pueden incluir a tasas más altas en comparación con el menor efecto sobre la calidad de grasa de la canal de los DDGS de maíz.

En resumen, las diferencias en la composición de los nutrientes de los DDGS de sorgo y maíz es similar a las diferencias entre el grano de sorgo y el maíz. Los DDGS de sorgo tiene mayor contenido de PC y lisina digestible, treonina, triptófano y valina, semejante en el fósforo disponible y menor en grasa cruda y metionina digestible que los DDGS de maíz. Al igual que el grano de sorgo comparado con el maíz de grano, el valor energético de los DDGS de sorgo es de 96 por ciento de los DDGS de maíz. Tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, como los DDGS de maíz, pero debe tener un menor efecto sobre el valor del yodo de grasa de la canal en comparación con los DDGS de maíz debido a su menor contenido de ácido linoleico. Con la formulación de una dieta adecuada, los DDGS de sorgo se pueden utilizar con la misma eficacia que los DDGS de maíz en dietas para cerdos.

Revisión de los ensayos de alimentos con DDGS de sorgo

Cerdos de crianza

Se evaluó en un total de cinco ensayos los efectos de los DDGS de sorgo incluidos en las dietas de crianza²⁹⁻³² (Tabla 12). En general, los DDGS de sorgo incluidos hasta un 30 por ciento de la dieta no afectó la ADG, ADFI y G:F en los cerdos destetados alimentados con dietas sin DDGS de sorgo. En un estudio de investigación se observó reducciones cuadráticas de ADG y G: F de los cerdos de crianza alimentados con dietas de 0, 15, 30, 45 y 60 por ciento de DDGS de sorgo³⁰. Estos se debió principalmente a una reducción lineal de ADFI conforme aumentó la inclusión de los DDGS de sorgo.

Sin embargo, la mayoría de los efectos negativos se observaron en 45 y 60 por ciento de la inclusión de los DDGS de sorgo. En dos estudios se comparó el rendimiento del crecimiento de los cerdos de crianza alimentados con dietas con 30 por ciento de DDGS de maíz o sorgo. El primer estudio demostró que los cerdos alimentados con DDGS de sorgo tenía un ADG similar, pero tuvieron mayor ADFI y un menor G:F que los cerdos alimentados con DDGS maíz³². El ADFI más alto observado en este estudio puede ser el resultado del menor contenido energético en los DDGS de sorgo en relación con los DDGS de maíz. Por el contrario, el segundo estudio mostró un mayor ADG y ADFI en lechones alimentados con DDGS de sorgo³¹. Al igual que con los DDGS de maíz, las diferencias en los resultados se pueden atribuir a la variabilidad en la calidad de las diferentes fuentes de DDGS de sorgo. En resumen, los DDGS de sorgo se pueden utilizar hasta un 30 por ciento de la dieta sin alterar el rendimiento del crecimiento de los cerdos de crianza.

Cerdos de crecimiento y terminación

En varios estudios se evaluaron los efectos de los DDGS de sorgo incluyente en las dietas de crecimiento y finalización^{29-31, 33-36} (Tabla 13). En el primer experimento, se añadió DDGS de sorgo a un 0, 10, 20 y 30 por ciento del alimento de la dieta de cerdos en crecimiento y finalización y no se observaron diferencias en el rendimiento del crecimiento²⁹. En otro estudio, la alimentación con DDGS de sorgo del 0 al 60 por ciento de las dietas dieron como resultado reducciones lineales en ADFI, mas no afectó el ADG de cerdos de terminación³⁰. Como resultado, se observó una mejora lineal en G:F con más DDGS de sorgo. Sin embargo, en estudios recientes, la alimentación con 40 por ciento de DDGS de sorgo a cerdos de terminación redujo el ADG, ADFI y G:F en comparación con los cerdos alimentados con una diete típica de maíz y soya^{31,33,35-36}. En un estudio se comparó el rendimiento de crecimiento de los cerdos de finalización alimentados con 40 por ciento de DDGS de maíz o sorgo³¹. Los resultados mostraron un ADG semejante aunque un ADFI mayor y un G:F menor en los cerdos alimentados con DDGS de sorgo. El aumento de ADFI puede ser una respuesta al menor contenido energético de los DDGS de sorgo en comparación con los DDGS de maíz.

En estudios recientes también se evaluaron las características de la canal y se demostró que la alimentación de los DDGS de sorgo a los cerdos de terminación en 40 por ciento de la dieta dio como resultado en menor peso de la canal caliente, pero no afectó el porcentaje de recubrimiento, porcentaje magro, grosor de los dorsales y profundidad del lomo³⁵⁻³⁶. En cuanto a la calidad de la grasa de la canal, los DDGS de sorgo en las dietas de los cerdos de terminación dieron como resultado un mayor valor de yodo de la grasa en la papada y calificaciones más bajas de firmeza del estómago que los cerdos alimentados con dietas sin DDGS de sorgo³⁵⁻³⁶. Era de esperarse porque los DDGS de sorgo son altos en ácidos grasos poliinsaturados.

En resumen, los estudios para los cerdos de crianza y de crecimiento y terminación muestran que los DDGS de sorgo se puede incluir hasta en un 30 por ciento de la dieta sin que se observen efectos negativos en el rendimiento del crecimiento o las características de la canal. En los cerdos de finalización, se deben tomar en consideración los efectos en la calidad de la grasa de la canal especialmente cuando se utilizan concentraciones más altas de los DDGS de sorgo en la dieta. Se necesita investigación para determinar el valor alimenticio de los DDGS de sorgo en las cerdas.

Recomendaciones de alimentación para los DDGS de sorgo

En la Tabla 14 se presentan ejemplos de dietas donde se sustituyeron los DDGS de sorgo con los DDGS de maíz en un 10 y 20 por ciento de la dieta. En la Opción Uno, los DDGS de sorgo sustituyen los DDGS de maíz en una base de peso igual, con sólo una pequeña reducción en el contenido de ME de la dieta. La Opción Dos muestra la formulación de dietas cuando se agrega grasa para igualar el contenido de ME de las dietas con DDGS de sorgo y maíz. Esto demuestra que sólo se necesitó un pequeño porcentaje de grasa para llevar las dietas de DDGS de sorgo a un mismo nivel de ME que las dietas de DDGS de maíz. Por lo tanto, se pueden utilizar DDGS de sorgo a la misma tasa de inclusión que los DDGS de maíz en las dietas para cerdos.

Referencias

1. Healy, B. J., J. D. Hancock, G. A. Kennedy, P. J. Bramel-Cox, K. C. Behnke, y R. H. Hines. 1994. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2227-2236.
2. Benz, J. M., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L. Nelssen, J. M. DeRouchey, R. D. Goodband, y R. C. Sulabo. 2010. Effects of increasing choice white grease in corn- and sorghum-based diets on growth performance, carcass characteristics, and fat quality characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* (In Press)
3. Richert, B. T., J. D. Hancock, R. H. Hines, y T. L. Gugle. 1992. Extrusion processing of cereal grains and soybean meal for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 70(Suppl. 1):232 (Abstr.).
4. Hongtrakul, K., R. D. Goodband, K. C. Behnke, J. L. Nelssen, M. D. Tokach, J. R. Bergstrom, W. B. Jr. Nessmith, y I. H. Kim. 1998. The effects of extrusion processing of carbohydrate sources on weanling pig performance. *J. Anim. Sci.* 76:3034-3042.
5. Jones, C. L., J. D. Hancock, C. M. Sowder, L. J. McKinney, D. W. Dean, D. J. Lee, J. S. Park, y N. Amornthwaphat. 2000. Effects of feed- and food-quality sorghums on milling characteristics and growth performance in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 78(Suppl. 1):185 (Abstr.)
6. Fialho, E. T., P. B. Rodrigues, J. A. F. Lima, H. O. Silva, y V. Oliveira. 2004. Performance and nutrient digestibility of low tannin sorghum fed to pigs from 10 to 30 kg. *J. Anim. Sci.* 82(Suppl. 1):22 (Abstr.)
7. Cromwell, G. L., T. S. Stahly, y J. R. Randolph. 1985. Grain sorghum and barley as alternative feed grains for growing-finishing swine. *Kentucky Agric. Exp. Sta. Rep.* 25-173. pp. 27.
8. Brand, T. S., H. A. Badenhorst, M. N. Ras, F. K. Siebrits, y E. H. Kemm. 1990. Normal and hetero-yellow endosperm grain sorghum as substitute for maize in pig diets. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 20:229-233.

9. Hancock, J. D., R. H. Hines, B. T. Richert, and T. L. Gule. 1992. Extruded corn, sorghum, wheat, and barley for finishing pigs. *Kansas Agri. Exp. Sta. Rep.* pp. 135-138.
10. Johnston, S. L., S. L. Traylor, R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, G. A. Kennedy, y S. P. Sorrell. 1998. Conditioning of corn- and sorghum-based diets affects growth performance and nutrient digestibility in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76(Suppl. 1):188 (Abstr.)
11. Shelton, J. L., J. O. Matthews, L. L. Southern, A. D. Higbie, T. D. Bidner, J. M. Fernandez, y J. E. Pontif. 2004. Effect of nonwaxy and waxy sorghum on growth, carcass traits, and glucose and insulin kinetics of growing-finishing barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 82:1699-1706.
12. Issa, S. 2009. Nutritional value of sorghum for poultry feed in West Africa. PhD Diss. Kansas State Univ., Manhattan.
13. Seaboard Farms. 2010. The effect of mill-run corn, mill-run sorghum, and identity preserved white sorghum-based diets on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. <http://www.cottonlink.org/sorghum/getFile.ashx?ID=769> Accesado el 25 de enero de 2010.
14. Louis, G. F., A. J. Lewis, y E. R. Peo, Jr. 1991. Feeding value of grain sorghum for the lactating sow. *J. Anim. Sci.* 69:223-229.
15. Johnston, S. L., S. L. Traylor, R. H. Hines, J. D. Hancock, K. C. Behnke, G. A. Kennedy, y S. P. Sorrell. 1998. Effects of expander conditioning of corn- and sorghum-based diets on pellet quality and performance in finishing pigs and lactating sows. *Kansas Agri. Exp. Sta. Rep.* pp. 213-220.
16. Zhao, R. 2008. Impact of sorghum proteins on ethanol fermentation and investigation of novel methods to evaluate fermentation quality. PhD Diss. Kansas State Univ., Manhattan.
17. Southeast Farm Press. 2009. Sorghum playing bigger role in ethanol production. <http://southeastfarmpress.com/biofuels/sorghum-ethanol-1203/> Accesado el 10 de febrero de 2010.
18. Urriola, P. E., D. Hoehler, C. Pedersen, H. H. Stein y G. C. Shurson. 2009. Amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles, produced from sorghum, a sorghum-corn blend, and corn fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 87:2574–2580.
19. Jondreville, C., J. van den Broecke, F. Gatel, F. Grosjean, S. van Cauwenberghe, y B. Seve. 2001. Ileal digestibility of amino acids and estimates of endogenous amino acid losses in pigs fed wheat, triticale, rye, barley, maize, and sorghum. *Anim. Res.* 50:119–134.
20. Yin, Y. L., N. K. Gurung, E. A. Jeurond, P. H. Sharpe, y C. F. M. de Lange. 2002. Digestible energy and amino acid contents in Canadian varieties of sorghum, pearl millet, high-oil corn, high-oil-high-protein corn and regular corn samples for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 82:385-391.
21. Pedersen, C., M. G. Boersma, y H. H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.

22. Stein, H. H. y G. C. Shurson. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292–1303.
23. Whitney, M. H. y G. C. Shurson. 2001. Availability of phosphorus in distiller's dried grains with solubles for growing swine. *J. Anim. Sci.* 79(Suppl. 1):108. (Abstr.)
24. Fent, R. W., T. S. Torrance, B. W. Ratliff, S. X. Fu, G. L. Allee, D. M. Webel, y J. D. Spencer. 2004. Evaluation of the bioavailability of phosphorus in distiller's dried grains with solubles (DDGS) when fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 82:254-255.
25. Jenkins, S. K. 2003. Effects of corn or sorghum distillers dried grains with solubles on apparent nutrient digestibility of growing pigs. MS Thesis. Oklahoma State Univ., Stillwater.
26. Feoli, C., S. Issa, J. D. Hancock, T. L. Gugle, S. D. Carter, y N. A. Cole. 2007a. Effects of adding saturated fat to diets with sorghum-based distillers dried grains with solubles on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 1):148. (Abstr.)
27. Mehmood, S., I. Orhan, Z. Ahsan, S. Aslan, y M. Gulfranz. 2008. Fatty acid composition of seed oil of different Sorghum bicolor varieties. *Food Chem.* 109:855-859.
28. White, P. J., L. M. Pollak, y S. Duvick. 2007. Improving the fatty acid composition of corn oil using germplasm introgression. *Lipid Tech.* 19:35-38.
29. Senne, B.W., J.D. Hancock, P.S. Sorrell, I.H. Kim, S.L. Traylor, R.H. Hines, y K.C. Behnke. 1995. Effects of distillers grains on growth performance in nursery and finishing pigs. *Kansas Agri. Exp. Sta. Rep.* pp. 68-70.
30. Senne, B.W., J.D. Hancock, I. Mavromichalis, S.L. Johnston, P.S. Sorrell, I.H. Kim, y R.H. Hines. 1996. Use of sorghum-based distillers grains in diets for nursery and finishing pigs. *Kansas Agri. Exp. Sta. Rep.* pp. 140-145.
31. Feoli, C., J. D. Hancock, T. L. Gugle, S. D. Carter, y N. A. Cole. 2008. Effects of enzyme additions to diets with corn- and sorghum-based distillers dried grains with solubles on growth performance and nutrient digestibility in nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):572 (Abstr.).
32. Jones, C. K., J. R. Bergstrom, M. D. Tokach, J. M. DeRouche, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, y S. S. Dritz. 2009. Efficacy of commercial enzymes in diets containing various concentrations and sources of dried distillers grains with soluble for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* doi: 10.2527/jas.2009-2109
33. Senne, B.W., J. D. Hancock, R. H. Hines, D. W. Dean, I. Mavromichalis, y J. R. Froetschner. 1998. Effects of whole grain and distillers dried grains with solubles from normal and heterowaxy endosperm sorghums on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of finishing pigs. *Kansas Agri. Exp. Sta. Rep.* pp. 148-152.
34. Feoli, C., J. D. Hancock, C. Monge, T. L. Gugle, S. D. Carter, y N. A. Cole. 2007b. Digestible energy content of corn- vs sorghum-based distillers dried grains with solubles in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):95 (Abstr.)

35. Feoli, C., J. D. Hancock, C. Monge, T. L. Gugle, S. D. Carter, y N. A. Cole. 2007c. Effects of corn- and sorghum-based distillers dried grains with solubles on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):95 (Abstr).
36. Feoli, C., J. D. Hancock, S. Issa, T. L. Gugle, y S. D. Carter. 2008b. Effects of adding beef tallow and palm oil to diets with sorghum-based distillers dried grains with solubles on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 3):86 (Abstr.).
37. NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
38. INRA. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2nd ed. D. Sauvant, J. M. Perez, y G. Tran. 304 p.

Tabla 1. Composición típica de nutrientes (según la alimentación)¹

	Sorgo	Maíz
Materia seca, %	89.0	89.0
Energía, kcal/lb		
Digestible	1,533	1,598
Metabolizable	1,515	1,551
NE INRA ²	1,188	1,201
NE NRC	1,023	1,086
Proteína cruda, %	9.2	8.3
Calcio, %	0.03	0.03
Fósforo, %	0.29	0.28
P disponible, %	0.058	0.039
Grasa cruda, %	2.9	3.9
Ácido linoleico, %	1.13	1.92
Fibra cruda, %	2.4	2.15
FDN, %	18.0	9.6
FDA, %	8.3	2.8
Total de aminoácidos, %		
Lisina	0.22	0.26
Isoleucina	0.37	0.28
Leucina	1.21	0.99
Metionina	0.17	0.17
Cisteína	0.17	0.19
Treonina	0.31	0.29
Triptófano	0.10	0.06
Valina	0.46	0.39

¹ NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

² INRA. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2nd ed. D. Sauvant, J. M. Perez, and G. Tran. 304 p.

Tabla 2. Coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada (SID, %) del maíz y el sorgo

Elemento	Maíz ¹	Diferencia ²	Sorgo
Lisina	78	-6.4	72
Isoleucina	87	-10	77
Leucina	92	-10.2	82
Metionina	90	-8.4	82
Cisteína	86	-9.7	76
Treonina	82	-6.4	76
Triptofano	84	-4.1	80
Valina	87	-9.3	78

¹ NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

² Difference between standardized ileal digestibility of corn and sorghum^{19-21, 36}

Tabla 3. Efectos de la fuente de granos en la calidad de la grasa de puerco¹

Elemento	Fuente de granos		SE	Valor P
	Maíz	Sorgo		
Calidad del dorsal				
Ácido palmítico (16:0), %	24.2	24.4	0.2	0.26
Ácido esteárico (18:0), %	12.5	12.5	0.2	0.97
Ácido oleico (18:1c9), %	38.7	40.4	0.04	0.01
Ácido linoleico (18:2n6), %	14.3	12.2	0.3	0.01
Proporción de PUFA:SFA	0.42	0.36	0.01	0.01
Valor de yodo, g/100 g	65.8	63.9	0.5	0.01
Calidad de la grasa de la quijada				
Ácido palmítico (16:0), %	22.8	23.1	0.2	0.16
Ácido esteárico (18:0), %	9.6	9.8	0.1	0.19
Ácido oleico (18:1c9), %	41.2	42.6	0.2	0.01
Ácido linoleico (18:2n6), %	14.6	12.9	0.3	0.01
Proporción de PUFA:SFA	0.49	0.43	0.01	0.01
Valor de yodo, g/100 g	70.3	68.3	0.5	0.01

¹ Adaptado de Benz et al. (2010).

Tabla 4. Valor relativo (%) de sorgo comparado con maíz en cerdos de crianza

Estudio	ADG	ADFI	G:F	Referencia
1	90	91	99	Richert et al. (1992) Exp. 1
2	113	112	101	Richert et al. (1992) Exp. 2
3	80	84	95	Healy et al. (1994) Duro
4	84	88	95	Healy et al. (1994) Blando
5	111	104	108	Hongtrakul et al. (1998) Jones et al. (2000) Corrida de
6	103	105	99	molino
7	105	105	100	Jones et al. (2000) Rojo
8	103	101	102	Jones et al. (2000) Blanco
9	96	103	93	Fialho et al. (2004)
Promedio	98	99	99	

Tabla 5. Valor relativo (%) de sorgo comparado con maíz en cerdos de terminación

Estudio	ADG	ADFI	G:F	Referencia
1	104	109	96	Brand et al. (1990) variedad 1
2	102	108	95	Brand et al. (1990) variedad 2
3	98	104	95	Hancock et al. (1992)
4	106	106	100	Johnston et al. (1998)
5	104	109	95	Shelton et al. (2004) sorgo ceroso
6	106	114	93	Shelton et al. (2004) sorgo sin cera
7	104	100	104	Issa (2009)
8	99	100	100	Seaboard Farms (2010)
9	106	105	101	Benz et al. (2010)
Promedio	103	106	98	
Cromwell (revisión de 1985)	98	102	97	Resumen de 10 exp

Tabla 6. Valor relativo (%) de sorgo en comparación con el maíz en cerdas lactando

Elemento	Valor relativo		Promedio
	Louis et al. (1991)¹⁴	Johnston et al. (1998)¹⁵	
Rendimiento de la cerda			
ADFI de lactancia	90	102	96
Cambio en el peso durante la lactancia	90	62	76
Intervalo de destete al celo	94	111	102
Rendimiento de la camada			
Tamaño de la camada nacida con vida	108	102	105
Tamaño de la camada en el destete	103	99	101
BW de la camada al nacer	99	101	100
BW de la camada en el destete	93	98	96
Ganancia de BW de la camada	92	97	95

Tabla 7. Ejemplo de dietas con grano de sorgo en lugar de maíz

Ingrediente, %	Maíz-soya	Pasta de sorgo-soya		
		Opción 1	Opción 2	Opción 3
Sorgo	---	76.41	80.72	78.59
Maíz	77.02	---	---	---
Pasta de soya, 46.5%	20.53	21.16	16.54	17.36
Grasa blanca de selección	---	---	---	1.30
Monocalcio P, 21% P	0.50	0.425	0.45	0.45
Caliza	0.90	0.95	0.975	0.975
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35
Premezcla de vitaminas con fitasa	0.15	0.15	0.15	0.15
Premezcla de minerales traza	0.15	0.15	0.15	0.15
HCl de lisina	0.30	0.30	0.45	0.45
DL-metionina	0.03	0.05	0.095	0.1
L-treonina	0.075	0.05	0.12	0.125
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Aminoácidos SID, %				
Lisina	0.95	0.93	0.93	0.95
Isoleucina:lisina	61	67	59	59
Leucina:lisina	144	155	144	142
Metionina: lisina	29	31	33	33
Met y cis: lisina	56	56	56	56
Treonina: lisina	62	62	62	62
Triptófano: lisina	17	20	17	17
Valina: lisina	71	75	67	66
Total lisina, %	1.06	1.04	1.03	1.05
ME, kcal/lb	1,517	1,490	1,490	1,517
Lisina SID:ME, g/Mcal	2.84	2.84	2.84	2.84
CP, %	16.5	17.2	15.7	15.9
Ca, %	0.53	0.53	0.53	0.53
P, %	0.46	0.46	0.44	0.44
P disponible, %	0.26	0.26	0.26	0.26
Presupuesto alimenticio,				
lb/cerdo	100	102	102	100

Tabla 8. Composición química de los granos secos de destilería con solubles de sorgo (según la alimentación)

Análisis aproximado, %										
Estudio	DM	CP	Grasa cruda	Fibra cruda	FDN	FDA	Ceniza	Ca	P	Referencia
1	90.0	28.1	10.4	9.4	-	-	4.4	-	-	Senne et al. (1998) Endosperma normal Senne et al. (1998) Endosperma
2	90.9	28.6	10.2	8.8	-	-	5.2	-	-	heteroceroso
3	89.3	25.4	9.7	6.4	-	-	4.4	0.10	0.81	Jenkins (2003) Fuente 1
4	89.8	30.2	8.9	6.9	-	-	3.5	0.04	0.66	Jenkins (2003) Fuente 2
5	88.1	30.2	8.5	6.5	-	-	3.8	0.07	0.69	Jenkins (2003) Fuente 3
6	88.5	29.8	7.9	7.9	-	-	3.5	-	0.62	Feoli et al. (2007a) Oakley
7	88.1	30.5	7.3	6.4	-	-	3.7	-	0.66	Feoli et al. (2007a) Russell
8	89.2	30.4	7.0	5.3	29.1	10.1	3.6	0.08	0.65	Feoli et al. (2007b) Russell Exp. 1
9	89.6	30.5	6.8	6.3	29.6	10.4	3.7	0.09	0.65	Feoli et al. (2007b) Russell Exp. 2
10	90.0	29.5	7.0	-	29.1	10.1	3.6	-	-	Feoli et al. (2008) Russell Exp. 1
11	90.8	31.1	8.3	-	29.7	10.5	3.7	-	-	Feoli et al. (2008) Russell Exp. 2
12	90.4	28	8.6	-	26.9	9.6	3.5	-	-	Feoli et al. (2008) Russell Exp. 3
13	88.3	30.7	10.2	7.2	29.6	19.2	4.1	0.04	0.72	Jones et al. (2009) Fuente 1
14	88.4	29.7	8.9	6.9	28.2	20.3	3.9	0.07	0.69	Jones et al. (2009) Fuente 2
15	91.2	32.7	8.0	-	34.7	25.3	11.9	-	-	Urriola et al. (2009)
n	15	15	15	11	8	8	15	7	9	
Prom¹	89.5	29.8	8.5	7.0	29.2	13.4	3.9	0.07	0.67	
DDGS de maíz	87.6	27.4	10.1	7.8	25.3	9.9	3.8	0.07	0.61	Spiehs et al. (2002); Pedersen et al. (2007)

¹ Los valores promedio se calcularon con la media de los valores, excluyendo el valor más alto y el más bajo.

Tabla 9. Contenido de aminoácidos de los granos secos de destilería con solubles de sorgo (según la alimentación)

Total de aminoácidos, %													Referencia
Estudio	Arg	His	Ile	Leu	Lis	Met	Met +Cis	Fe	Fe +Tir	Tr	Trp	Val	
1	1.11	0.71	1.46	4.27	0.76	---	0.96	---	2.92	1.14	0.23	1.75	Senne et al. (1998) Endosperma normal Senne et al. (1998) Endosperma
2	1.20	0.71	1.42	4.16	0.86	---	1.01	---	2.87	1.18	0.25	1.76	heteroceroso
3	1.22	0.72	0.96	2.79	0.89	0.49	1.03	1.27	2.21	0.93	0.24	1.34	Jenkins (2003) Fuente 1
4	1.23	0.79	1.25	4.03	0.89	0.56	1.18	1.64	2.86	1.08	0.21	1.60	Jenkins (2003) Fuente 2
5	1.17	0.72	1.25	3.86	0.84	0.49	1.07	1.60	2.78	1.03	0.22	1.58	Jenkins (2003) Fuente 3
6	1.29	0.77	1.25	3.93	0.95	0.58	1.16	1.46	2.59	1.09	0.20	1.67	Jones et al. (2009) Fuente 1
7	1.15	0.70	1.25	3.92	0.84	0.50	1.02	1.42	2.50	1.03	0.19	1.62	Jones et al. (2009) Fuente 2
8	1.10	0.71	1.36	4.17	0.68	0.53	1.02	1.68	---	1.07	0.35	1.65	Urriola et al. (2009)
n	8	8	8	8	8	6	8	6	7	8	8	8	
Prom¹	1.18	0.72	1.30	4.01	0.85	0.52	1.06	1.53	2.72	1.08	0.23	1.64	
DDGS de maíz	1.14	0.71	1.00	3.11	0.76	0.54	1.06	1.32	2.32	1.04	0.21	1.34	Stein y Shurson (2009)

¹ Los valores promedio se calcularon con la media de los valores, excluyendo el valor más alto y el más bajo.

Tabla 10. Digestibilidad ileal estandarizada (SID, %) de CP y aminoácidos en granos secos de destilería con solubles de maíz y sorgo

Elemento	SID, %	
	DDGS de maíz ¹	DDGS de sorgo ²
Arg	81.1	79.2
His	77.1	71.9
Ile	75.3	74.0
Leu	83.5	77.3
Lis	60.6	64.0
Met	81.8	76.5
Fe	80.8	76.9
Tr	70.4	70.2
Trp	69.6	72.0
Val	74.4	73.6

¹Stein y Shurson (2009).

²Urriola et al. (2009).

Tabla 11. Concentraciones energéticas en granos secos de destilería solubles de maíz y sorgo (según la alimentación)

Elemento	DDGS de	
	maíz ¹	DDGS de sorgo ^{2,3}
Energía bruta, kcal/lb	2,160	2,142
Energía digestible, kcal/lb	1,645	1,585
Energía metabolizable, kcal/lb	1,549	1,491

¹Pedersen et al. (2007).

²El valor de energía bruta es la media de los 11 valores reportados, excluyendo el valor más alto y el más bajo; Senne et al. (1996), Feoli et al. (2007a), Feoli et al. (2007b), Feoli et al. (2008).

³Energía digestible = energía bruta x 74%; ME = DE x [1.003 – (0.0021 x % CP)].

Tabla 12. Rendimiento de crecimiento de cerdos de crianza alimentados con granos secos de destilería con solubles de sorgo

Estudio	BW (lb)	Núm. de cerdos	Criterios (lb)	DDGS de sorgo, % de la dieta						Referencia	
				0	10	15	20	30	45		60
1	15 a 40	72	ADG	1.02	1.06	---	1.01	---	---	---	Senne et al. (1995)
			ADFI	1.64	1.71	---	1.76	---	---	---	
			G:F	0.62	0.62	---	0.58	---	---	---	
2	13 a 33	180	ADG	1.07	---	1.10	---	1.02	0.88	0.71	Senne et al. (1996)
			ADFI	1.72	---	1.62	---	1.43	1.42	1.28	
			G:F	0.62	---	0.68	---	0.72	0.61	0.55	
3	17 a 50	72	ADG	1.27	---	---	---	1.20	---	---	Feoli et al. (2008a)
			ADFI	1.82	---	---	---	1.80	---	---	
			G:F	0.70	---	---	---	0.67	---	---	
4	24 a 47	350	ADG	1.05	---	---	1.07	1.01	---	---	Jones et al. (2009) Fuente 1
			ADFI	1.60	---	---	1.68	1.65	---	---	
			G:F	0.66	---	---	0.64	0.61	---	---	
5	24 a 47	350	ADG	1.05	---	---	1.05	1.02	---	---	Jones et al. (2009) Fuente 2
			ADFI	1.60	---	---	1.68	1.68	---	---	
			G:F	0.66	---	---	0.63	0.61	---	---	

Tabla 13. Rendimiento de crecimiento de cerdos de crecimiento y terminación alimentados con granos secos de destilería con solubles de sorgo

Estudio	BW (lb)	Núm. de cerdos	Criterios (lb)	DDGS de sorgo, % de la dieta						Referencia
				0	10	20	30	40	60	
1	94 a 192	192	ADG	1.97	1.98	1.93	1.93	---	---	Senne et al. (1995)
			ADFI	5.22	5.19	4.98	5.08	---	---	
			G:F	0.38	0.38	0.39	0.38	---	---	
2	120 a 246	80	ADG	2.09	---	2.22	---	2.22	2.19	Senne et al. (1996)
			ADFI	6.97	---	6.75	---	6.66	6.38	
			G:F	0.30	---	0.33	---	0.33	0.34	
3	143 a 248	192	ADG	1.96	---	---	---	1.84	---	Senne et al. (1998)
			ADFI	7.00	---	---	---	7.38	---	
			G:F	0.28	---	---	---	0.25	---	
4	141 a 287	88	ADG	2.08	---	---	---	2.00	---	Feoli et al. (2007a)
			ADFI	6.93	---	---	---	7.15	---	
			G:F	0.30	---	---	---	0.29	---	
5	158 a 287	56	ADG	2.12	---	---	---	1.96	---	Feoli et al. (2007b)
			ADFI	7.34	---	---	---	6.98	---	
			G:F	0.29	---	---	---	0.28	---	
6	141 a 284	132	ADG	2.14	---	---	---	1.96	---	Feoli et al. (2008a)
			ADFI	6.71	---	---	---	6.43	---	
			G:F	0.32	---	---	---	0.30	---	
7	150 a 271	56	ADG	1.80	---	---	---	1.69	---	Feoli et al. (2008b)
			ADFI	6.32	---	---	---	6.07	---	
			G:F	0.28	---	---	---	0.28	---	

Tabla 14. Ejemplo de dietas con DDGS de sorgo en lugar de DDGS de maíz

Ingrediente, %	Dietas con 10% de DDGS			Dietas con 20% de DDGS		
	DDGS maíz	DDGS de sorgo		DDGS maíz	DDGS de sorgo	
		Opción 1	Opción 2		Opción 1	Opción 2
Maíz	68.92	69.37	68.90	61.04	61.93	60.91
Pasta de soya, 46.5%	18.62	18.19	18.41	16.70	15.84	16.28
DDGS de sorgo	---	10	10	---	20	20
DDGS de maíz	10	---	---	20	---	---
Grasa blanca de selección	---	---	0.25	---	---	0.60
Monocalcio P, 21% P	0.30	0.25	0.25	0.10	0.05	0.05
Caliza	1.125	1.15	1.15	1.125	1.15	1.15
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Premezcla de vitaminas con fitasa	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Premezcla de minerales traza	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
HCl de lisina	0.325	0.325	0.325	0.35	0.35	0.35
DL-metionina	---	0.01	0.01	---	---	---
L-treonina	0.055	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aminoácidos de SID, %						
Lisina	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.95
Isoleucina:lisina	63	65	65	65	69	69
Leucina:lisina	158	162	162	171	181	179
Metionina:lisina	28	28	28	30	29	29
Met & cis:lisina	57	57	57	62	59	59
Treonina:lisina	62	62	62	62	62	60
Triptófano:lisina	17	17	17	17	17	17
Valina:lisina	74	76	76	78	82	81
Total de lisina, %	1.08	1.07	1.08	1.09	1.08	1.10
ME, kcal/lb	1,517	1,512	1,517	1,521	1,509	1,521
Lisina de SID:ME, g/Mcal	2.84	2.84	2.84	2.83	2.83	2.83
CP, %	17.6	17.7	17.8	18.8	18.9	19.1
Ca, %	0.57	0.57	0.57	0.53	0.53	0.53
P, %	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
P disponible, %	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Presupuesto alimenticio,						
lb/cerdo	100.0	100.4	100.0	99.8	100.5	99.7