



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Inclusión progresiva de forraje en la dieta de cerdos en crecimiento-engorde: efecto de la cantidad y del tipo de fibra sobre el desempeño productivo, la utilización digestiva y la excreción de nitrógeno

Andrea González Pérez

Doctorado en Ciencias Agrarias

Diciembre 2022

**Inclusión progresiva de forraje en la
dieta de cerdos en crecimiento-engorde:
efecto de la cantidad y del tipo de fibra
sobre el desempeño productivo, la
utilización digestiva y la excreción de
nitrógeno**

Andrea González Pérez

Doctorado en Ciencias Agrarias

Diciembre 2022

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la Ing. Agr. (Dra.) Jordana Rivero, Ing. Agr. (Dra.) Cristina Cabrera y Ani. Scien. (PhD.) Daniel Rico el 8 de diciembre de 2022. Autora: Ing. Agr. MSc. Andrea González, Directora Ing. Agr. (Dra.) María Laura Astigarraga.

Tesis dedicada a mis hijos.

«Ninguna persona ignora todo. Nadie lo sabe todo. Todos sabemos algo. Todos ignoramos algo. Por eso aprendemos siempre»

PAULO FREIRE

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral no hubiese sido posible sin la cooperación desinteresada de muchas personas, algunas de las cuales mencionaré a continuación, y de otras cuyas colaboraciones han quedado inclusive invisibles para mí, a quienes también va mi agradecimiento.

Deseo agradecer a la Dirección del Departamento de Producción Animal y Pasturas de la Facultad de Agronomía por los recursos brindados para la ejecución del trabajo de campo y, en especial, a la Ing. Agr. Laura Astigarraga por llevar adelante la dirección de este doctorado.

De igual manera, agradecer a Gabriela Arias y Shirley Furtado por su permanente apoyo en las determinaciones analíticas y a las Ings. Agrs. Amabelia del Pino y María de Jesús Marichal por su colaboración con recursos para finalizar los análisis en el laboratorio.

Asimismo, agradecer a la Dra. Inmaculada Mateos-Aparicio, investigadora de la Universidad Complutense de Madrid, y sus estudiantes de posgrados por el acompañamiento en la pasantía realizada y, sobre todo, su calidez humana brindada durante la estadía.

Un agradecimiento muy especial a Dana Montedónico, Rocío Leivas Pacheco, Víctor Rodríguez y Murad Taschdjian por su colaboración en la ejecución del experimento, sin el cual el trabajo de campo no hubiera sido posible.

A las compañeras y compañeros docentes y funcionarios del Departamento de Producción Animal y Pasturas quienes, de una u otra forma, estuvieron presentes en este proceso.

Finalmente, mi agradecimiento profundo a Varinia Figueroa y Andrea Álvarez Oxiley por hacerme sentir acompañada en éste proceso y especialmente, porque su accionar mantiene encendido en mí el fueguito para seguir construyendo una universidad pública y de calidad para todas y todos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>.....	1
1.1.HIPÓTESIS.....	2
1.2.OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	3
1.2.1. <u>Objetivo general</u>	3
1.2.2. <u>Objetivos específicos</u>	3
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>.....	4
2.1. LA FIBRA DIETÉTICA: ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN.....	4
2.1.1. <u>Métodos analíticos para la determinación de la fibra dietética</u>	7
2.1.2. <u>Componentes químicos determinados en la fibra dietética</u>	9
2.1.2.1. Carbohidratos de la pared celular.....	11
2.1.2.2. Lignina.....	14
2.1.2.3. Almidón resistente.....	15
2.1.2.4. Otros componentes químicos asociados a la pared celular.....	15
2.2. ROL DE LA FIBRA DIETÉTICA EN LA NUTRICIÓN DE LOS CERDOS.....	16
2.2.1. <u>Propiedades físico-químicas de la fibra dietética</u>	16
2.2.2. <u>Efectos de la fibra sobre el consumo</u>	18
2.2.3. <u>Efectos de la fibra sobre el llenado del TGI y la digestibilidad</u>	19
2.2.4. <u>Efecto de la fibra sobre la excreción del nitrógeno</u>	21
2.2.5. <u>Efecto de la fibra sobre indicadores de crecimiento y de calidad de carcasa</u>	22
2.3. FORRAJES PARA CERDOS.....	24

3. <u>INCLUSIÓN DE FORRAJES CON DISTINTA RELACIÓN DE FIBRA SOLUBLE E INSOLUBLE EN LA DIETA DE CERDOS</u>	31
4. <u>EFFECTO DE LA FUENTE DE FIBRA EN LA DIGESTIBILIDAD Y LA RETENCIÓN DE NITRÓGENO EN CERDOS</u>	50
5. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	73
5.1. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL CONSUMO	73
5.2. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD APARENTE.....	76
5.3. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE LOS ANIMALES	77
5.4. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL BALANCE DE NITRÓGENO	80
6. <u>CONCLUSIONES</u>	83
7. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	85
8. <u>ANEXOS</u>	104
ANEXO 1. Métodos enzimáticos-gravimétricos para la determinación de fibra (AOAC, 2012).....	104
ANEXO 2. Propiedades físicas de las dietas con forrajes.....	105
ANEXO 3. Concentración y cantidad de EM (Mcal/kg) para cada tratamiento y fase	105
ANEXO 4. Cantidad de heces recolectada en la prueba de digestibilidad para cada tratamiento y fase.....	105

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inclusión de dos forrajes (alfalfa y achicoria) con diferente contenido en fibra soluble (FS) sobre la digestibilidad *in vivo* aparente (DA) de los nutrientes, la retención del nitrógeno (RN) y la respuesta productiva de dietas para cerdos en tres estados fisiológicos. El ensayo de digestibilidad consistió en una secuencia de tres pruebas de digestibilidad y metabolismo *in vivo* con nueve animales, machos castrados. Cada prueba correspondió a una fase de peso y a un nivel de inclusión (10, 20 y 30%). En la prueba de crecimiento se utilizaron 27 animales y se evaluó la inclusión progresiva de los dos forrajes desde la recría a la terminación. Los tratamientos en los dos experimentos fueron: dieta base testigo (T0) formulada en base a maíz y harina de soja, y dieta base con alfalfa (T1) (*Medicago sativa* var. Chaná) o con achicoria (T2) (*Cichorium intibus* var. Lacerta) para las fases (F) de recría I (F1, 40-60 kg de peso vivo, PV), recría II (F2, 60-80 kg de PV) y terminación (F3, 80 a 100 kg de PV). Los resultados mostraron que la DA de la materia orgánica (MO) de la dieta se redujo en un 10 % ($P < 0,05$) al incluir el forraje para todos los niveles evaluados (10, 20 y 30 %) en comparación con la dieta testigo (88 %). Sin embargo, el peso final y la ganancia diaria no difirieron entre tratamientos, lo cual podría estar asociado al mayor consumo de alimento observado en estos grupos. No hubo reducción en la utilización digestiva de la fibra determinada como fibra detergente neutro (FDN), fibra insoluble (FI) y FS en las dietas con forraje a medida que se incrementaba el nivel de inclusión, pero se obtuvieron registros mayores del peso de los componentes del tracto gastrointestinal de los cerdos, en particular el colon en T2 ($P < 0,05$), lo que redujo el rendimiento de carcasa en los animales (1 % en T1 y 2,5% en T2, $P < 0,05$). Este trabajo contribuye con información para optimizar la sustitución de alimentos convencionales en pos del desarrollo de sistemas de alimentación sostenible en la producción porcina.

Palabras clave: alimentos, cerdos, consumo, fibra dietética, fibra soluble

**PROGRESSIVE INCLUSION OF FORAGE IN THE DIET OF
GROWING-FINISHING PIGS: EFFECT OF QUANTITY AND TYPE OF
FIBER ON PRODUCTIVE PERFORMANCE, DIGESTIVE UTILIZATION
AND NITROGEN EXCRETION**

SUMMARY

The effect of the inclusion of two forages (alfalfa and chicory) with different soluble fiber (SF) content on the apparent digestibility (DA) of nutrients, nitrogen retention (NR) and the productive response of diets for pigs was evaluated in three physiological states. The digestibility test consisted of a sequence of three *in vivo* digestibility and metabolism trials with nine castrated males. Each test corresponded to a weight phase and to an inclusion level (10, 20 y 30%). In the growth test, 27 animals were used, evaluating the progressive inclusion of the two forages from rearing to finishing. The treatments in the two experiments were: control base diet (T0) formulated based on corn and soybean meal, and base diet with alfalfa (T1; *Medicago sativa* var. Chaná) or with chicory (T2; *Cichorium intibus* var. Lacerta) for phases (F) of rearing I (F1, 40-60 kg live weight LW), rearing II (F2, 60-80 kg LW) and finishing (F3, 80 to 100 kg LW). The *in vivo* apparent digestibility (AD) of OM in the diet was reduced by around 10 % ($P < 0.05$) when forage was included for all levels evaluated (10, 20 and 30 %) compared with the control diet (88 %). However, the final weight and daily gain did not differ between treatments, given the higher dry matter intake recorded. There was no reduction in the digestive utilization of the fiber determined as neutral detergent fiber (NDF), insoluble fiber (FI) and SF in the diets with forage as the inclusion level increased, but higher records were obtained for the weight of the components of the gastrointestinal tract of pigs, particularly the colon at T2 ($P < 0,05$), which reduced carcass yield in these animals (1% at T1 and 2.5% at T2, $P < 0,05$). This work contributes with information to carry out an optimal substitution of conventional feeds in pursuit of the development of sustainable feeding systems in pig production.

Keywords: consumption, dietary fiber, food, pigs, soluble fiber

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de cereales y leguminosas para la alimentación humana y la producción de biocombustibles ha incrementado los costos en los sistemas de producción porcina que utilizan estos alimentos como los principales componentes de las dietas de los animales (Schader et al., 2015). Como forma de mantener la rentabilidad de los sistemas, se han incorporado nuevos alimentos menos atractivos para otros usos, la mayoría de estos, de elevado contenido de fibra.

En respuesta a los avances analíticos y de comprensión de los componentes de la fibra, profundizar sobre los efectos fisiológicos y nutricionales de la fibra dietética contribuye a optimizar el uso de los alimentos alternativos fibrosos en las dietas de los cerdos. Los estudios han demostrado que el aumento de la fibra en la dieta de los cerdos interfiere en la digestibilidad de los nutrientes y de la energía (Low, 1985, Noblet y Le Goff, 2001), lo que afecta negativamente el rendimiento productivo de los animales. No obstante, los efectos reportados varían según la composición de la fibra, el tiempo de adaptación de los animales a la dieta y los niveles de inclusión del alimento fibroso en la dieta (Noblet y Le Goff, 2001, Noblet et al., 1994, Stanogias et al., 1985, Kuan et al., 1983), que dejan planteada la necesidad de profundizar en el tema para comprender las variaciones encontradas.

Por otra parte, en los últimos años, ha cobrado especial atención el uso de los forrajes como ingrediente de dietas y se ha promovido su uso en los sistemas de producción de cerdos por los beneficios que brindan para el bienestar de los animales. Se han descrito cambios en el comportamiento de cerdas gestantes que consumen forrajes, con una disminución de los movimientos estereotípicos atribuidos a la sensación de saciedad que generan estos alimentos en los animales en confinamiento (Ramonet et al., 1999, Guillon et al., 2011). También, se ha determinado el importante rol de la inclusión de fibra en las dietas en la salud intestinal de los animales monogástricos (Lindberg, 2014, Knudsen, 2001, Wenk, 2001), explicado por el efecto de descenso de pH intestinal (Jensen y Jorgensen, 1994) asociado a cambios en el desarrollo de la población microbiana en el intestino grueso (Ivarsson et al., 2012). Adicionalmente, la fermentación de la fibra en el tracto bajo permite una mayor retención de nitrógeno (N) no digerido que queda asociada a

las heces, modificando la partición de N entre heces y orina (Jha y Leterme 2012, Canh et al., 1997). Este efecto se asocia a una ventaja relativa a nivel ambiental ya que contribuye a reducir las emisiones de gases con gran potencial de efecto invernadero como el óxido nitroso (N₂O) (Constantini et al., 2018).

Finalmente se han vinculado mejores relaciones de ácidos grasos n³/n⁶ en cerdos alimentados con forraje fresco, lo cual puede presentar una ventaja adicional al obtener un producto de mejor composición nutricional para el consumo humano (Lebret, 2008).

En Uruguay, el uso de los forrajes en las dietas de cerdos está presente en una alta proporción de los establecimientos criadores, destinados al plantel reproductor. En la etapa crecimiento-engorde los resultados reportados coinciden en que la inclusión de forrajes deprime los indicadores de crecimiento para estas categorías (Battezzore, 2006, Bauza et al., 2006, Bauza y Petrocelli, 2005, Ache et al., 1983). Los autores concuerdan en recomendar un nivel de inclusión de forraje de hasta el 20 % de la materia seca en dietas con el concentrado restringido, manteniendo un nivel fijo de inclusión del forraje durante todo el crecimiento de los animales.

Sin embargo, investigaciones que estudien el aporte creciente de forrajes como alimento fibroso con distinta relación fibra soluble/fibra insoluble durante toda la etapa de recría y engorde de los cerdos, no han sido reportados. Integrar información del efecto que ocasiona la fibra dietética con su diferente composición en fibra sobre el consumo y la digestibilidad de los nutrientes podría contribuir a identificar los niveles de inclusión que permitan alcanzar un desempeño productivo adecuado en relación con las dietas tradicionales (maíz y harina de soja) y con posibles impactos en relación a la excreción de nitrógeno menos volátil a nivel ambiental.

1.1. HIPÓTESIS

La inclusión progresiva de forraje hasta un 30% en la dieta de cerdos en crecimiento-terminación no afectará el desempeño productivo, medido como tasa de ganancia diaria y peso final de carcasa, determinado a una misma edad de faena.

A mismo aporte de fibra dietética (FD) en las dietas con inclusión de forraje, la dieta fibrosa con mayor relación FS/FI presentará mayor digestibilidad de la MO.

La inclusión de forraje en la dieta de cerdos hasta niveles de 30% orientará una mayor proporción de N excretado hacia las heces, favoreciendo una menor excreción relativa de N reactivo al ambiente vía orina y heces.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la inclusión progresiva de forraje hasta un 30% en la dieta de cerdos en crecimiento-terminación, con forrajes con similar contenido de FD pero diferente relación FS/FI, sobre el desempeño productivo medido como tasa de ganancia diaria y peso final de carcasa, y sobre el consumo, la digestibilidad y la excreción de N.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el desempeño productivo a la misma edad de faena de cerdos en crecimiento-terminación según la cantidad de FD consumida y su relación FS/FI, en dietas con inclusión de forraje.
- Estudiar el efecto de la relación FS/FI a mismo aporte de FD en las dietas con inclusión de forraje, sobre el consumo y la digestibilidad.
- Cuantificar el N retenido y el N excretado en heces y en orina, según la relación FS/FI a mismo aporte de FD en las dietas con inclusión de forraje.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Durante las últimas décadas han sido numerosas las publicaciones que refieren a la utilización de la fibra en la alimentación de los cerdos. La incorporación de alimentos alternativos fibrosos en respuesta al elevado precio del maíz y de la harina de soja ha conducido a profundizar los estudios para comprender los cambios fisiológicos que ocasionan estas dietas y los efectos sobre la utilización nutritiva en cerdos. Sin bien ha quedado constatado que la fracción fibrosa en la dieta reduce la utilización de la energía (Liu et al., 2018, Le Goff et al., 2002, Noblet y Le Goff, 2001), afectando la ganancia diaria y el rendimiento de carcasa (Edwards, 2003) es probable que las respuestas productivas sean diferentes según el tipo de fibra, teniendo en cuenta que sus componentes solubles e insolubles alteran de forma diferente el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI), y por tanto la utilización de los nutrientes. Por otra parte, esas diferencias también han sido vinculadas a modificaciones en la salud intestinal (Gong y Yang, 2012, Lindberg, 2014) y el bienestar de los animales (Presto et al., 2019).

La caracterización de la fibra de los alimentos con sus componentes solubles e insolubles y sus efectos en los procesos digestivos de los animales es un aspecto importante para optimizar el uso de alimentos fibrosos en las dietas. Conocer sus componentes cualitativa y cuantitativamente y las propiedades físico-químicas permite predecir efectos que intervienen en el valor nutritivo del alimento por los efectos que ocasiona sobre el consumo, la digestibilidad de los nutrientes y el aporte de energía determinantes en la cuantificación de la oferta de los nutrientes.

2.1. FIBRA DIETÉTICA: ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN

El concepto de fibra dietética (FD) toma fuerza en los años 70, luego de un proceso de investigación e intercambio de resultados entre científicos de diferentes áreas disciplinarias. Hasta entonces, las tablas de alimentos presentaban el valor de la fibra cruda (FC), concepto definido en el siglo XIX como un residuo insoluble en ácidos y álcalis.

El método para la estimación de esta entidad fue desarrollado por Heinrich Einhof en Möglin (Alemania) en 1806, quien enuncia que el residuo fibroso obtenido

después de la extracción secuencial con solventes ácidos y álcalis representaba la materia indigerible. Einhof calculó estimaciones del valor nutritivo de vegetales y forrajes sobre esta base (Van Soest y McQueen, 1973). Henneberg y Stohmann lo aplicaron en la estación experimental de Weende, en Alemania (1860), formando parte del sistema de análisis proximal de los alimentos.

Sin embargo, Crampton y Maynard (1937) ya mencionaban dificultades para trabajar con las determinaciones de FC y extracto libre de nitrógeno (ELN), especialmente en el caso de los forrajes, y propusieron trabajar con tres fracciones: una porción no digerida, lignina; una fracción altamente digestible, otros carbohidratos, y la celulosa, unidad reconocible tanto biológica como químicamente, de digestibilidad variable e inversa al grado (o naturaleza) de su lignificación. En la misma línea, Forbes y Hamilton (1952), en pruebas de evaluación de alimentos con cerdos, encontraron gran variabilidad en los valores de digestibilidad de la fibra cruda, que fueron atribuidos a diferencias en la composición de la pared celular. En ese entonces, se advertía que la metodología utilizada para la determinación de la fibra cruda y, particularmente, en el cálculo del extracto libre de nitrógeno (ELN) permitía que una parte de los componentes de la pared (lignina y hemicelulosa) fueran contabilizados en la fracción que representaba a los carbohidratos disponibles (Van Soest, 1966).

Para superar las limitaciones del método, se propuso realizar el fraccionamiento utilizando soluciones con detergentes, aislando el centro de la pared de las células vegetales (Van Soest y Wine, 1967). El residuo obtenido, compuesto casi en su totalidad por hemicelulosa, celulosa y lignina, se caracterizaba como componente no digerido por las enzimas producidas por los animales (Van Soest, 1967), siendo el sistema de análisis de detergente un procedimiento relativamente rápido y preciso (Playne et al., 1972).

Junto al desarrollo analítico para la determinación de carbohidratos, se profundizó en la comprensión de la química de los carbohidratos en general, en particular, en la arquitectura de la pared celular vegetal, en el papel fisiológico de los carbohidratos de los alimentos, principalmente en la medicina y la nutrición clínica.

En respuesta a estos avances, entre 1971 y 1974, Painter, Burkitt y Trowell plantearon diferentes hipótesis que relacionaban la presencia o ausencia de fibra en la dieta con enfermedades intestinales y cardíacas, siendo Trowell (1976) quien retoma el término fibra dietética utilizado por Hipsley (1953) para incluir a todos los polisacáridos no digeribles y guía la definición hacia un concepto más fisiológico, donde quedan contenidas las celulosas, hemicelulosas, ligninas, gomas, celulosas modificadas, mucílagos, oligosacáridos y pectinas, y sustancias menores asociadas, como ceras, cutina y suberina.

Los estudios metodológicos para lograr la cuantificación de la FD fueron realizados en forma colaborativa por numerosos laboratorios liderados por Prosky, para llegar a un método único que se correspondiera con la definición aceptada en ese momento: parte de los vegetales resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado y que fermenta completa o parcialmente en el intestino grueso. Incluye a los polisacáridos, los oligosacáridos de alto peso molecular, la lignina y las sustancias asociadas que promueven efectos fisiológicos beneficiosos (DeVries et al., 1999, Prosky, 1999). Se trata, por tanto, de una descripción fisiológico-botánica, siendo las paredes de las células vegetales la principal fuente de material resistente a la digestión. Finalmente, se adopta como análisis oficial para la fibra dietética total (AOAC. 985.29) el entonces conocido como método de Prosky (Prosky et al., 1985, McCleary y Cox, 2017).

En 2009, la comisión del Codex Alimentarius (FAO/OMS) adopta como definición para la FD: «Polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y pertenecen a las siguientes categorías: polímeros de carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos tal como se consumen; polímeros de carbohidratos, que se han obtenido a partir de materias primas alimentarias por medios físicos, enzimáticos o químicos y que han demostrado tener un efecto fisiológico beneficioso para la salud, como lo demuestran las pruebas científicas aceptadas ante las autoridades competentes; polímeros de carbohidratos sintéticos que han demostrado tener un efecto fisiológico beneficioso

para la salud, como lo demuestran las pruebas científicas generalmente aceptadas ante las autoridades competentes»¹.

2.1.1. Métodos analíticos para la determinación de la fibra dietética

Acompañando la evolución del concepto de FD, se fueron desarrollando diferentes métodos para aislar y fraccionar el grupo de sustancias que la conforman. Inicialmente, la propuesta analítica conocida como método Prosky, procedimiento enzimático-gravimétrico tomado como el método oficial por la AOAC, se identifica como 985.29. Posteriormente, se complementan con otras determinaciones para la cuantificación de fibra insoluble AOAC 991.42, fibra soluble AOAC 993.19 y los métodos que dan resultados equivalentes: AOAC 991.43, AOAC 994.13, AOAC 993.21 (anexo 1).

En el método AOAC 985.29, el almidón y las proteínas se eliminan mediante hidrólisis enzimática, seguida de la precipitación con alcohol de los fragmentos solubles de mayor peso molecular que precipitan en la presencia de etanol acuoso al 78 % y se recuperan junto con la fibra dietética insoluble por filtración. Los residuos se lavan, se secan, se pesan y se analizan para cenizas o proteínas. Las cenizas y las proteínas se restan de los pesos de los residuos para cuantificar fibra dietética total (FT), que comprende la fibra dietética soluble (FS) y la fibra dietética insoluble (FI) (figura 1). En este método, se cuantifica parte de la fracción de almidón resistente (RS), pero no su totalidad. En el residuo también están incluidos los elementos extraños inducidos por el calor.

El método para la determinación de FI (AOAC 991.42) omite el precipitado con alcohol y el método para la determinación de FS (AOAC 993.19) el residuo del filtrado se precipita con alcohol (paso 4, figura 1).

¹ Como parte de la definición se realizan las siguientes aclaraciones: entre las unidades monómeras de origen vegetal, la FD puede incluir fracciones de lignina y/u otros compuestos (fracciones proteicas, compuestos fenólicos, ceras, saponinas, fitatos, cutina, fitoesteroles, etc.) cuando se asocia con polisacáridos en las paredes celulares de la planta y si estos compuestos se cuantifican mediante el método analítico gravimétrico AOAC 991.43. Sin embargo, cuando se extraen o reintroducen en un alimento que contiene polisacáridos no digeribles, no pueden definirse como FD. Por otra parte la inclusión de carbohidratos de 3 a 9 unidades monómeras quedará definida por cada país (McCleary et al., 2010, Englyst et al., 2013).

Posteriormente, el método oficial AOAC 985.29 se modificó para permitir la cuantificación de la fibra dietética total, soluble e insoluble de los alimentos en una misma determinación (AOAC 991.43). Como resultado en el avance de las investigaciones y una mayor comprensión de la complejidad de la FD que incorpora en su nueva definición a los fructanos, polidextrosa, transgalactooligosacáridos, maltodextrinas resistentes y almidón resistente, se desarrollaron nuevos métodos oficiales para identificar cada componente (AOAC 997.08 y AOAC 999.03, AOAC 2000.11, AOAC 2001.02, AOAC 2001.03 y AOAC 2002.02, respectivamente) (McCleary et al., 2010).

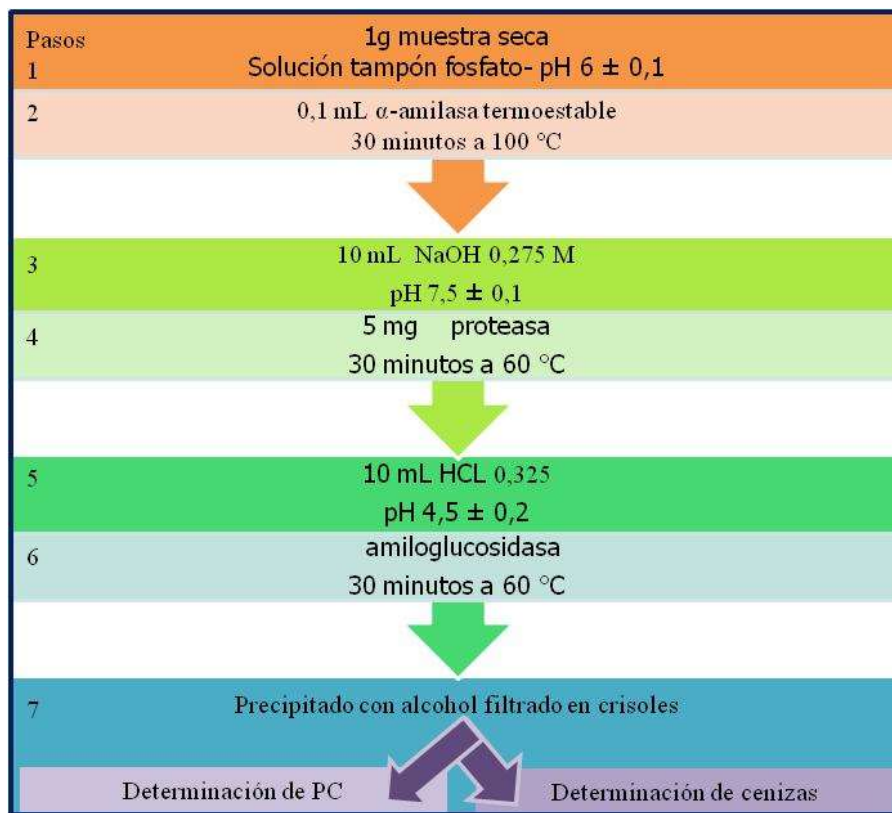


Figura 1. Procedimiento para la determinación de fibra dietética (FD, AOAC 985.29)

Por otra parte, Southgate (1969) desarrolló una metodología para la determinación de la fibra dietética, como «carbohidratos no disponibles», de acuerdo a la propuesta realizada por McCance y Lawrence (1929). El objetivo de este método

consiste en medir específicamente los carbohidratos mediante técnicas colorimétricas. El procedimiento se perfeccionó en una serie de estudios y se estableció un protocolo para medir solamente los polisacáridos no almidón (PNA), sin incluir la lignina (Englyst et al., 1994). Este método del tipo químico enzimático cuantifica la fibra como la suma de sus constituyentes: monosacáridos y ácidos urónicos, obtenidos por la hidrólisis ácida de los polisacáridos correspondientes. En este procedimiento, el almidón se elimina de la muestra, se recupera, así, el PNA, se hidroliza con ácido y se analiza mediante cromatografía de alta resolución o colorimétrica. Englyst et al. (1994) no consideran el almidón resistente como un componente importante de la fibra dietética, aunque este sea fermentado en el colon (Johnson y Southgate, 1994).

2.1.2. Componentes químicos determinados en la fibra dietética

En acuerdo con las definiciones mencionadas para la FD, los polisacáridos de las plantas no digeridos por las enzimas del intestino delgado se vinculan químicamente con los componentes de las paredes celulares. Sin embargo, quedan involucrados otros compuestos químicos que no son compuestos naturales de las paredes celulares de los vegetales y/o no son polisacáridos, pero cumplen con la premisa de que no son digeridos enzimáticamente. En la figura 2, se representan las determinaciones totales o parciales de los componentes químicos de acuerdo al esquema sugerido por McCleary et al. (2010).

Knudsen (2001) describe la composición de la pared vegetal de las plantas, variable entre especies, entre tejidos de una misma planta y según el estado fenológico de la planta, compuesta, generalmente, por un 60 % agua, 5-15 % polisacáridos no celulósicos, 10-15 % celulosa, 2-8 % de sustancias pécticas, 0,5-3 % lípidos y 1-2 % proteínas y, en la medida que los tejidos envejecen, se incrementa la lignina.

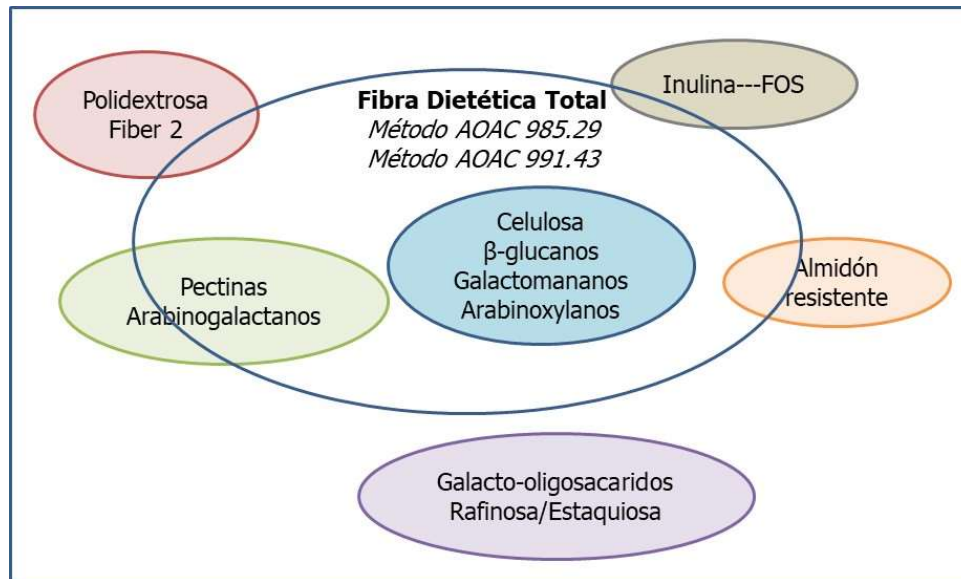


Figura 2. Componentes químicos determinados por el método AOAC 985.29. (Fuente: McCleary et al., 2010).

Finalmente, comparando el análisis de la fracción fibra resultante determinado por el método AOAC 985.29 en relación al método proximal de Weende y de los detergentes (FDN, FDA, LDA) por el método de van Soest, es posible apreciar que en estos dos últimos métodos no se cuantifican las pectinas o las hemicelulosas solubles, fracciones no digeridas por las enzimas del intestino delgado pero que son parcial o totalmente fermentables en el intestino grueso. Esta cuantificación es incorporada al analizar la FD con sus componentes FS y FI, brindando información de las propiedades fisiológicas de la fibra dietética (figura 3).

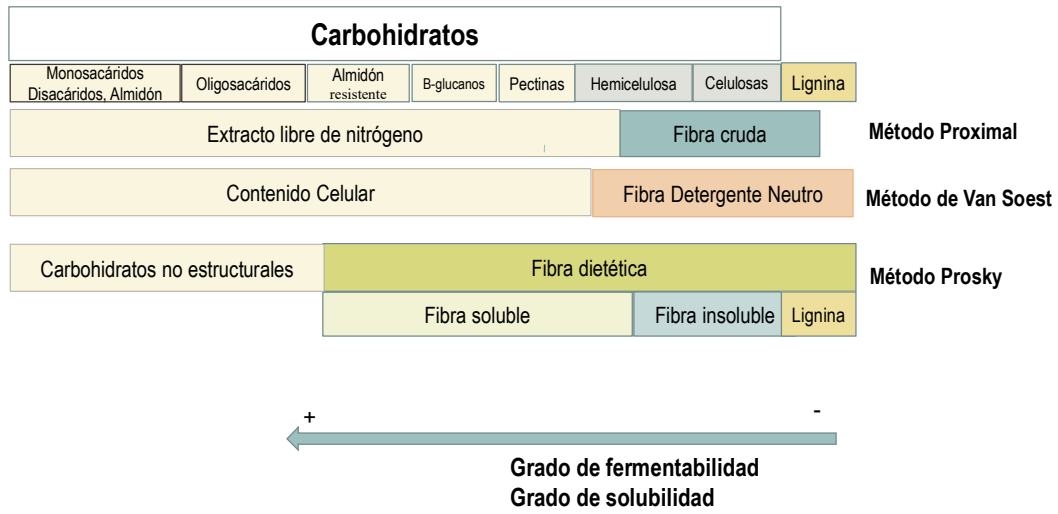


Figura 3: Categorías de carbohidratos de la dieta basados en métodos analíticos actuales (Fuente: adaptado de Degén, 2007).

2.1.2.1. Carbohidratos de la pared celular

La pared celular es la estructura que rodea las células vegetales y cumple funciones esenciales, como otorgar rigidez a la célula vegetal, protección frente al ambiente, evitar una posible desecación y aislar y comunicar unas células con otras (Johnson y Southgate, 1994, Keegstra, 2010). Se pueden distinguir dos tipos de paredes celulares (figura 4): las primarias y las secundarias. Las paredes primarias se depositan durante el crecimiento celular (división y expansión) y constituyen la capa más externa de la pared celular y, en algunos tipos de células, es la única pared que se forma (Wilson, 1993), siendo la capa más externa de la pared celular. Deben ser estables pero suficientemente extensibles para permitir la expansión celular. Están constituidas principalmente por celulosa, hemicelulosas y pectinas (Cosgrove, 2005) (figura 5).

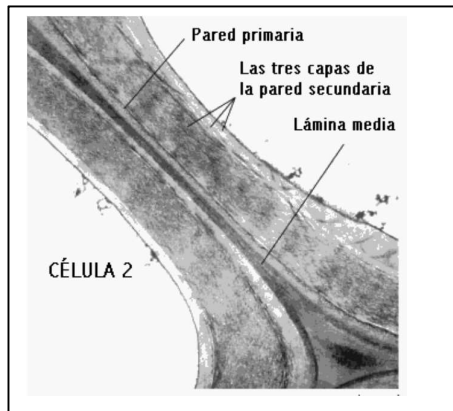


Figura 4. Pared celular vegetal
(Fuente: Solomon et al., 2001)

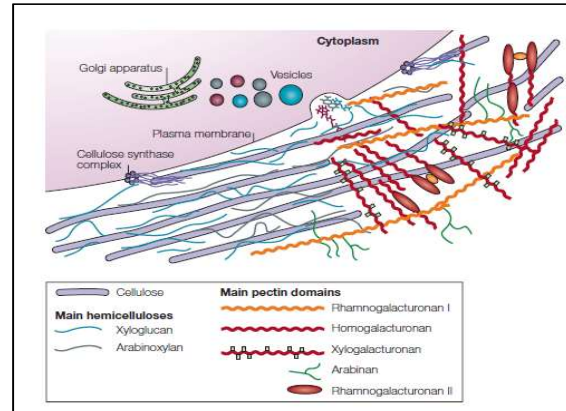


Figura 5. Pared celular primaria
(Fuente: Cosgrove, 2005)

Las paredes celulares secundarias se depositan después del cese del crecimiento celular y confieren estabilidad mecánica a células especializadas, como los elementos del xilema y las células del esclerénquima (Wilson, 1993). Pueden tener hasta tres capas que se distinguen por la diferente orientación de las microfibrillas de celulosa (Aspinall, 1980). Estas paredes representan compuestos de celulosa y hemicelulosas y, a menudo, están impregnadas de ligninas. Entre las paredes celulares primarias de células adyacentes, se encuentra la lámina media, una capa de polisacáridos cementantes llamados pectinas. Esta estructura hace que las células se adhieran con fuerza entre sí (Solomon et al., 2001). Además de los polisacáridos, las paredes de las células vegetales contienen cientos de proteínas diferentes. Muchas de estas se consideran proteínas «estructurales», mientras que otras participan en el *turnover* de la pared celular (Reiter, 2002).

Los principales polisacáridos que integran las paredes celulares son la celulosa, los arabinoxilanos, los xiloglucanos, los xilanos, los ramnogalacturonanos y los arabinogalactanos (Selvendran, 1985, Stephen, 1983) y los componentes básicos de esos polisacáridos son las pentosas arabinosa y xilosa, las hexosas glucosa, galactosa y manosa, las 6-desoxi hexosas ramnosa y fucosa y los ácidos uránicos glucurónico y galacturónico.

Las proporciones de los componentes celulosa, hemicelulosas y lignina determinarán las propiedades físicas de las paredes celulares y los efectos fisiológicos en los animales (Knudsen, 2001).

La celulosa es la macromolécula más abundante en la naturaleza y comprende entre el 10 y el 30 % de los PNA en los alimentos (Albersheim et al., 2010). Está compuesta por unidades de glucosa unidas por enlaces β -1,4 y, debido a su naturaleza lineal y no ramificada, las moléculas de celulosa pueden agruparse en una red tridimensional formando microfibrillas a través de enlaces de hidrógeno, cada una de las cuales contiene, aproximadamente, 36 cadenas paralelas de polisacáridos. (Wilson, 1993, Reiter, 2002). Las cadenas de celulosa en las paredes celulares de las plantas superiores tienen un grado de polimerización (número de unidades de monosacáridos) de 2000-6000 (Delmer y Amor, 1995). Toda la celulosa en la estructura de la pared de célula de la planta se combina, en cierto grado, con lignina, hemicelulosa, cutina y minerales.

Las hemicelulosas son un grupo heterogéneo de polisacáridos que contienen una mezcla de hexosas y pentosas, a menudo en cadenas muy ramificadas. En su mayoría, comprenden una columna vertebral de azúcares xilosa con ramas de arabinosa, manosa, galactosa y glucosa y tienen un grado de polimerización entre 150 y 200. Típicos de las hemicelulosas son los arabinoxilanos y casi la mitad de las hemicelulosas contienen ácidos urónicos, que son derivados carboxilados de glucosa y galactosa. Son importantes para determinar las propiedades de las hemicelulosas, comportándose como ácidos carboxílicos, y son capaces de formar sales con iones metálicos como calcio y zinc (Cummings y Stephen, 2007). Las hemicelulosas y la lignina juntas forman el material de la pared secundaria que se espesa. El xiloglucano es la hemicelulosa principal en las paredes primarias de la mayoría de las plantas superiores y, típicamente, consiste en un esqueleto de 1,4- β -D-glucano que lleva restos de 1,6- α -D-xilosa en tres residuos de glucosa consecutivos (Reiter, 2002). Algunas de las unidades de xilosa pueden sustituirse adicionalmente con galactosa, galactosa-fucosa o arabinosa (Vierhuis, 2002, Huntley y Patience, 2018). Otras hemicelulosas presentes en las plantas son los glucuronoarabinoxilanos, cadenas de xilano con enlaces β -1,4 con arabinosa y ácidos glucurónicos unidos (Brillouet et al., 1982) y galacto(gluco) mananos, los que tienen una estructura de unidades de manosa con enlaces β -1,4, que pueden ser interrumpidas por unidades de glucosa, y

cadena laterales de galactosa unidas a las unidades de manosa de la estructura (Bremner y Wilkie, 1971).

Las pectinas son un grupo heterogéneo de polisacáridos complejos que están presentes en las paredes celulares primarias de todas las plantas con semillas y se encuentran particularmente en la laminilla media (Bacic et al., 1988). Componentes principales de las paredes celulares primarias de las dicotiledóneas (ej. leguminosas) y de menor importancia en las paredes primarias de las Gramineae (Jarvis et al., 1988) pueden estar compuestos de hasta 17 monosacáridos diferentes con más de 20 enlaces diferentes (Voragen et al., 2009). El mayor constituyente de este grupo de polímeros son los ramnogalacturonanos, cadenas de α -D-(1,4)-galacturonanos con residuos interpuestos de L-(1,2)- ramnosa (Selvendran, 1985, Lineback, 1999) y también pueden estar presentes como cadenas laterales otros azúcares como la galactosa y la arabinosa (Cummings y Stephen, 2007). Se han caracterizado estructuralmente tres polisacáridos pécticos a partir de las paredes primarias de monocotiledóneas y dicotiledóneas, identificadas como rhamnogalacturonan I, rhamnogalacturonan II y homogalacturonano, siendo el primero el más frecuente (O'Neill et al., 2004). El grado de polimerización del ramnogalacturonano I es de, aproximadamente, 2000 y está compuesto por ácido D-galactosilurónico, L-ramnosilo, D-galactosilo, L-arabinosilo y pequeñas cantidades de residuos L-fucosilo. La columna vertebral del ramnogalacturonano I está compuesta de residuos alternados de L-ramnosilo enlazado en 2 y ácido D-galactosilurónico enlazado en 4 (Lau et al., 1985).

2.1.2.2. Lignina

La lignina se considera, generalmente, como la principal fracción no carbohidrato en la pared celular vegetal y la fuente de mucha resistencia a la degradación microbiana. Puede describirse como una red muy ramificada formada por unidades de fenilpropano. Se encuentra parcialmente unida a la celulosa de la pared celular y a los polisacáridos no celulósicos y cumple funciones de cementar y anclar las microfibrillas de celulosa y otros polisacáridos de la matriz para, de esta

manera, endurecer las paredes y evitar la degradación bioquímica y el daño físico de las paredes (Knudsen, 1997).

2.1.2.3. Almidón resistente

El almidón resistente hace referencia a aquel que no se digiere por la acción de las enzimas digestivas en el intestino delgado, pero es rápidamente fermentable en el intestino grueso. Está presente naturalmente en todos los alimentos que presentan almidón y las cantidades son variables según la fuente, la técnica de procesamiento utilizado en la preparación del alimento y las condiciones de almacenamiento (Brow, 2004). En función de esas características, se distinguen cuatro clases de almidón resistente: el almidón físicamente inaccesible a las enzimas digestivas porque están enclaustradas en una matriz indigestible (AR1): los gránulos de almidón nativo que resisten a la digestión debido a la conformación o estructura de los gránulos (AR2); el almidón retrogradado (AR3), almidón que ha sido gelatinizado y enfriado formando cristales que resisten a la digestión (cambios de conformación ante efectos como el calor) y el almidón químicamente modificado (AR4) (Brown, 2004).

2.1.2.4. Otros componentes químicos asociados a la pared celular

Entre otros componentes se mencionan proteínas, incluyendo varias enzimas y glicoproteínas (Rose y Lee, 2010). También están presentes gomas y mucinas. Las gomas comprenden una variedad de monosacáridos, a menudo galactosas y derivados enlazados en una cadena lineal de enlaces β -1 \rightarrow 3 y β -1 \rightarrow 6, con ramas de ácidos urónicos, a menudo galacturónicos, arabinosas y manosas. Las mucinas son secretadas por algunas plantas en los sitios de lesión. Los mucílagos son sustancias con estructura y propiedades similares a las pectinas, también capaces de formar geles (Blanco y Blanco, 2017). Contienen N acetilgalactosamina, N-acetilglucosamina, galactosa, fucosa, ácidos siálicos y manosa adheridos al núcleo de la proteína (Bansil y Turner, 2006).

2.2. ROL DE LA FIBRA DIETÉTICA EN LA NUTRICIÓN DE LOS CERDOS

En la actualidad las tablas de alimentos (FEDNA, Feedipedia) presentan la información de los carbohidratos de la pared cuantificados como fibra cruda (FC) y/o fibra detergente neutro (FDN). La tabla de alimentos publicada por el NRC (2012) muestra para algunos de ellos, la información del contenido de FD, FS y FI, estableciendo en su capítulo final la necesidad de generar información respecto al aporte de las fibras fermentables de los alimentos.

La compleja y variada composición de la pared celular de los vegetales, y las diferentes formas de cuantificación al momento de evaluar su utilización, son alguna de causas que podrían explicar las diferencias en la respuesta productiva de los animales cuando reciben dietas fibrosas. La cuantificación por FD con sus componentes FS y FI, fracciones que son parcial o totalmente fermentables en el intestino grueso, proporcionan además una idea de las propiedades físico-químicas que podrían interferir en el proceso digestivo del alimento.

2.2.1. Propiedades físico-químicas de la fibra dietética

Las principales propiedades físico-químicas de las fibras dietéticas descritas son la solubilidad, la capacidad de retención de agua, la viscosidad, la capacidad de hinchamiento y la densidad aparente (Knudsen, 2001).

La solubilidad hace referencia a la capacidad de la fibra dietética de disolverse en agua (Oakenfull, 2001) o en una solución ácida o básica o en una solución con enzimas que imitan a las presentes en el TGI (Cho y Prosky, 1999). La solubilidad está influenciada por la cantidad de monosacáridos y el tipo de enlace. No hay solubilidad en el caso de que los polisacáridos adopten estructuras regulares y ordenadas, como la celulosa o los arabinoxilanos lineares (Oakenfull, 2001). La mayor presencia de fibra soluble incrementa la viscosidad de la digesta, mientras que la fibra insoluble incrementa la tasa de pasaje (Urriola, 2013).

El hinchamiento es la primera etapa del proceso de solubilización. Consiste en la entrada de agua que expande las macromoléculas hasta que son completamente extendidas y dispersadas, después de lo cual se solubilizan. Por lo tanto, el grado de

hinchamiento depende de la capacidad de retención de agua de la fibra dietética (Knudsen et al., 2012).

La capacidad de retención de agua cuantifica la cantidad de agua retenida por la fibra sin aplicación de una fuerza externa, y esta capacidad depende de los tipos de enlaces glicosídicos y de la composición de los polisacáridos (Ngoc et al., 2012). Estos términos se refieren a la cantidad de agua absorbida dentro de la estructura de la fibra (Cho y Prosky, 1999). Tanto la fibra soluble como la insoluble pueden retener agua porque la capacidad de retención de agua (CRA) proviene de los grupos hidroxilo que pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua (Oakenfull, 2001). La CRA es mayor en alimentos con mayor proporción de fibra soluble que los de mayor contenido de insoluble (Serena y Knudsen, 2007).

La viscosidad mide la resistencia al flujo y depende, principalmente, del peso molecular del polímero y de su concentración (Furuta y Maeda, 1999). La viscosidad de la pectina y el glucano presente en los alimentos es mayor que la de la celulosa y la lignina (Dikeman y Fahey, 2006). Además, las fracciones de cadena larga de la fibra dietéticas estarían más asociadas a presentar mayor viscosidad que las fracciones de cadena corta (Nyman, 2003).

La densidad aparente se define como el grado de consistencia medido como la cantidad de masa por unidad de volumen ocupada por los materiales fibrosos (Elleuch et al., 2011). Una densidad aparente más baja conduciría a una mayor plenitud en el tracto gastrointestinal, lo que podría asociarse con un efecto de reducción del apetito y menor ingesta de alimento.

Otra de las propiedades físicas que menciona la bibliografía por su importancia con la interacción con los minerales de la dieta es la capacidad de unión catiónica. Estudios reportan que los grupos carboxilo libres y ácidos urónicos (grupos ionizables) de la fibra dietética presentan cierta capacidad de unirse con minerales y moléculas orgánicas como los ácidos biliares (Schneeman, 2002, Oakenfull, 2001). Esta unión entre fibra y minerales puede prevenir la absorción de minerales como Ca^{+2} , Mg^{+2} y Zn^{+2} (Cho y Prosky, 1999). Algunos de los compuestos de la fibra dietética que se unen a los minerales son los fitatos, y la lignina también puede tener efectos sobre la absorción de minerales (Kritchevsky, 1988, Adlercreutz, 2007).

La fermentación de la FD dependerá de la solubilidad, la capacidad de retención de agua y la porosidad de la fibra, lo que facilitará más o menos el acceso de las enzimas bacterianas para su degradación (Cho et al., 1999, Knudsen, 2001, Guillon et al., 2007, Zijlstra et al., 2012, Knudsen, 2012). La fibra soluble tiene mayor capacidad de retención de agua, siendo más fermentable que la fibra insoluble. A su vez, cuanto más susceptible a la fermentación es una fuente de FD, más energía obtiene el cerdo como ácidos grasos volátiles (AGV) (McBurney y Sauer, 1993).

2.2.2. Efectos de la fibra sobre el consumo

El consumo voluntario de alimento (CV) en los cerdos determina los niveles de ingesta de nutrientes y responde a la necesidad de satisfacer requerimientos para el mantenimiento y la deposición de tejidos. Por lo tanto, tiene un impacto significativo en la tasa de crecimiento y la calidad de la canal, determinantes de la eficiencia y la rentabilidad de la producción (Nyachoti et al., 2004).

Las limitaciones que pueden impedir que los cerdos expresen la ingesta potencial de nutrientes tiene que ver con el llenado del TGI y la respuesta a la saciedad y hambre controlada por el cerebro que resulta del consumo del alimento, la absorción de los productos de la digestión y de los metabolitos posteriores (Forbes, 2009, Maljaars et al., 2007).

A medida que disminuye la densidad energética de la dieta (Mcal/kg), los cerdos incrementan el consumo para mantener la cantidad de energía requerida (Cole et al., 1967, Black et al., 2009). Ese incremento en el consumo es posible por un aumento en la capacidad del TGI o cambios en el tiempo de tránsito de la digesta hasta cierto punto en el que la ingesta no puede aumentar más para compensar la disminución de la digestibilidad y por lo tanto la ingesta de energía disminuye. Este efecto negativo de reducción de la ingesta es mayor en animales jóvenes comparado con animales adultos (Black et al., 2009, Gregory, 2002).

Black et al. (1986) indicaron que animales entre 20 y 50 kg de peso podrían aumentar el consumo cuando las dietas contienen una concentración de energía digestible (ED) en torno a 3,2 Mcal/kg, mientras que cerdos de 70 kg ajustan su

ingesta para compensar el déficit de energía en dietas con valores de concentración de ED por encima de 2,4 Mcal/kg. Estos autores han propuesto una relación alométrica entre el consumo máximo de alimento (CM, kg/d) y el PV para dietas que contienen 87 % de MS y niveles bajos o moderados de ED expresada en la siguiente ecuación: $CMV = 0,111 PV^{0,803}$.

Para que los animales incrementen el consumo de alimento, es necesario un tiempo de adaptación física, que, de acuerdo con Liu et al. (2018), sería de 12 días, período de tiempo en el cual se estabilizan los valores de digestibilidad de los nutrientes. Un acostumbamiento puede aumentar el peso y el volumen de todo el intestino y mejorar la capacidad intestinal y el consumo de dietas fibrosas (Stanogias et al., 1985, Kyriazakis y Emmans, 1995).

2.2.3. Efectos de la fibra sobre el llenado del TGI y la digestibilidad

El aumento o disminución del consumo de alimento está directamente relacionado con el tiempo tránsito de la digesta por el TGI. El tiempo de tránsito a través del TGI está determinado, en primer lugar, por la tasa de vaciamiento del estómago y de la frecuencia y eficacia de los movimientos peristálticos del intestino delgado. La velocidad de vaciamiento del estómago es relevante también por el llenado del intestino delgado, donde se encuentran receptores responsables de la sensación de llenado que limita la ingestión del alimento. La fibra dietética es uno de los factores que modifica el tiempo de tránsito (Wilfart et al., 2007). Una mayor concentración de FD en la dieta de los cerdos reduce el tiempo de tránsito de la digesta en el TGI, lo que resulta en un menor tiempo para la fermentación microbiana y puede deprimir la digestibilidad de la materia seca (MS) y de los nutrientes (Navarro et al., 2019, Urriola, 2013, Wilfart et al., 2007).

Hay registros de la existencia de degradación de algunas fracciones de fibra antes del final del intestino delgado, pero la mayor parte tiene lugar en el intestino grueso (Navarro et al., 2019). Resultados reportados para la digestibilidad ileal aparente (DIA) de las fracciones de fibra dietética están entre 1 % (DIA de celulosa) y 49 % (DIA de FS) (Knudsen et al., 2012, Zaho et al., 2020). También, los registros dan evidencias de una mayor variabilidad para la fermentación de la FD comparado a

la digestión del almidón, las grasas y las proteínas (Knudsen et al., 2012, Wisker y Knudsen, 2003). Jha et al. (2010) reportan que la FS es más fermentable en el intestino debido a sus características de solubilidad en comparación con las de la xilosa y la arabinosa.

Como ya fuera mencionado, el potencial de fermentabilidad del FD está relacionado con su solubilidad, viscosidad, grado de lignificación, capacidad de retención de agua (CRA) y estructura física (Zijlstra et al., 2012, Knudsen, 2012). Las fuentes de fibra con alta CRA permiten que las bacterias del TGI penetren la matriz e inicien a un ritmo más rápido el proceso de degradación (Metzler y Mosenthin, 2008). Por tanto, las fuentes de fibra soluble no lignificada, como la pulpa de remolacha azucarera, fermentan fácil y más rápidamente en el TGI que las fuentes de fibra insoluble y lignificada, como la paja de cereales o la cáscara de avena. En consecuencia, las FS aportan más AGV y a un ritmo más rápido que las insolubles, con diferencias más pronunciadas en los animales adultos que en los jóvenes (Noblet, 2007, Mateos et al., 2019).

La FD (arabinoxilanos insolubles, celulosa) se degrada lentamente en las partes más distales del colon en cerdos (Knudsen et al., 1993, Wilfart et al., 2007). Se han reportado en este sector del TGI valores menores al 50 % para la digestibilidad de la FI (Urriola et al., 2010, Wenk, 2001) y valores de 92 % para la FS (Urriola et al., 2010).

Por otra parte, la FS tiene la propiedad de unirse a las sales biliares en el intestino delgado (Gunness y Gidley, 2010) lo que disminuye la digestión y absorción de los lípidos de la dieta y, por tanto, también los triacilglicéridos y el colesterol en sangre (Jenkins et al., 2000). Este es uno de los aspectos por lo cual ha sido de interés el estudio de la fibra en la dieta de humanos. También es posible esperar diferencias en la digestibilidad aparente del nitrógeno (N), atribuido a una mayor actividad bacteriana en el intestino grueso, lo que incrementa las pérdidas de N en heces (Grieshop et al., 2001).

Por otro lado, se sabe que la digestibilidad de nutrientes y energía de los ingredientes de dietas ricas en fibra podría verse afectada por el PV de los cerdos (Pu et al., 2020, Jha y Berrocoso, 2015), los que tienen un desarrollo diferente del TGI:

animales más pesados tienen un TGI más desarrollado y, por tanto, mayor capacidad de digestión y fermentación de la FD (Zaho et al., 2020).

A pesar de los posibles efectos negativos sobre la digestibilidad de los nutrientes mencionados, la fibra dietética optimiza la función intestinal al mejorar la función de barrera epitelial del intestino (Chen et al., 2013, Jha y Berrocoso, 2015) porque modula la composición microbiana y la fermentación de polisacáridos no almidón (PNA) en el TGI (Knudsen et al., 2012, Ngoc et al., 2012).

2.2.4. Efecto de la fibra sobre la excreción del nitrógeno

La producción animal y en especial la porcina han estado asociado a efectos nocivos para el ambiente. Se identifican entre otros la excreción de nitrógeno y fósforo como elementos que contribuyen a la eutrofización o exceso de nutrientes en el agua y acidificación de suelos y aguas (Coma et al., 2004). Asimismo, la posible contaminación de suelos y aguas, y la emisión al aire de ciertos compuestos pueden tener un papel relevante para la aceptación pública de los sistemas de producción.

Alrededor de un 40% del N consumido por el cerdo, es retenido por el animal. El grado de utilización se cuantifica calculando por el balance de nitrógeno o el Valor proteico neto (VPN) que relaciona el balance de N (g/a/d) con el N consumido. El N no utilizado, es eliminado por la orina como urea. Este N se convierte rápidamente a amonio en un proceso de pocas horas (Muck y Richards, 1983).

El incremento de la fermentación ocasionada por la presencia de fibra soluble en el intestino grueso trae aparejado un incremento en la síntesis de proteína microbiana y por ende mayor utilización del N no proteico por los microorganismos. Esta mayor demanda implica una reorientación de urea plasmática al colon y con ello, parte del N que sería excretado en la orina, es transportado al tracto ciego-colónico donde es incorporado a la proteína microbiana (Jarret et al., 2012). Canh (1998) sugiere que la adición de fibra a las dietas de los cerdos altera el patron de excreción de nitrógeno, incrementando el N excretado en heces y reduciendo la excreción de N en orina. Esta forma de N es más estable que el N urinario en

relación a la emisión potencial de amoníaco (Bindelle et al., 2008, Canh et al., 1997).

Por otra parte, el aumento de fibra fermentable en la dieta está directamente relacionada con la producción de AGV, que reducen el pH en el intestino grueso y en el estiércol (Phung, 2006). Asimismo, la proporción de cada uno de los AGV presente (acético, propiónico y butírico) variarán con el nivel y tipo de fibra, pero no estarían relacionados con la contaminación por olor de las heces (Phung, 2006).

2.2.5. Efecto de la fibra sobre el crecimiento de los animales y calidad de carcasa

La mayor eficiencia para el uso de un alimento por parte de los cerdos se produce cuando la ingesta de energía disponible para el metabolismo es suficiente para obtener la máxima tasa de deposición de proteínas en relación con el potencial genético de los animales. Al sustituir alimentos concentrados de las dietas por alimentos con elevado contenido de fibra, se espera una reducción en la digestibilidad de la materia orgánica y, por lo tanto, menor concentración de energía metabolizable en la dieta (Wenk, 2001, Knudsen, 2001). Como se mencionó anteriormente, diferencias en la composición de la FD generarán diferencias en la utilización de los nutrientes, en el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI), en la producción de AGV y en la población microbiana presente (Wilfart et al., 2007, Noblet y Le Goff, 2001, Knudsen, 2001).

Los productos de la fermentación de la FD en el intestino grueso son los AGV, lactato y gases como H₂, CO₂ y CH₄ (Williams et al., 2001, Knudsen, 1991). Los AGV producidos se absorben en el intestino y se utilizan como fuente de energía para los cerdos. De acuerdo con la cantidad de fibra soluble y fibra insoluble será el grado de fermentación y la producción de ácidos grasos volátiles proveedores de energía para el animal (Knudsen, 2015, Zijlstra et al., 2012). Se ha demostrado que las pectinas de rápida fermentación son sustrato para la producción, principalmente de acetato, cuyo principal destino es la lipogénesis (Wong et al., 2006). Los arabinosilanos son menos fermentables que las pectinas y proveen, principalmente, butirato (Molist et al., 2009), sustrato energético preferido por los colonocitos y cuya presencia tiene una influencia importante sobre la integridad de las células epiteliales (Lopetuso et al., 2013). El propionato es un sustrato glucogénico a nivel de hígado

pero el acetato es absorbido con menos facilidad por el hígado y contribuye en menor proporción a la gluconeogénesis (Rémésy et al., 1995). La energía producida por la fermentación del intestino posterior varía desde el 7 % al 18 % de la energía total disponible, dependiendo del contenido de carbohidratos fermentables de la dieta (Anguita et al., 2006).

Por otra parte, como resultado de la fermentación en el intestino grueso, hay un aumento en la producción de calor (Jørgensen et al., 1996, Galassi et al., 2004, Aumiller et al., 2015), efecto que podría quedar asociado a una menor actividad física de los animales. Cerdos alimentados con dietas convencionales (maíz y harina de soja) registran un gasto energético por actividad física entre el 5 y el 28 % de los requerimientos de mantenimiento (Grieshop et al., 2000), según el sistema de alojamiento en el que se encuentren. La menor actividad física registrada en cerdos alimentados con dietas fibrosas podría contribuir con una reducción en el requerimiento de EM para el mantenimiento (Ramonet et al., 2000).

Estudios realizados por Rijnen et al. (2003) indican una reducción del 30 % en la eficiencia de utilización de la EM proveniente de la FD comparada a la proveniente del almidón. Esta reducción estaría explicando las menores ganancias de los animales cuando se sustituyen alimentos concentrados por alimentos fibrosos. Como ya fue mencionado, la disminución en la densidad energética de la dieta, consecuencia del contenido de fibra, ocasiona un incremento en el consumo asociado con el aumento en el tamaño y la longitud de los órganos digestivos, incluido el intestino delgado, el ciego y el colon de los cerdos (Jørgensen et al., 1996, Van Hees et al., 2019). Ese aumento ocasiona la reducción en el rendimiento de carcasa de los animales (kg de peso de animal eviscerado con cabeza/kg de peso vivo). Resultados publicados por Le Dividich et al. (1987) reportan una reducción de un 2 % en el rendimiento para animales alimentados con dietas que incluyeron 4,5 % de FC comparado con dietas con el 2 % de FC, con incrementos en el contenido intestinal del 1,2 % del PV.

Con respecto a indicadores de calidad de carcasa, los resultados encontrados han sido heterogéneos. Smit et al. (2019) y Beaulieu et al. (2009) no encontraron cambios en el espesor de grasa dorsal ni en el rendimiento de cortes nobles. Sin

embargo, Stein y Easter (1996) y Quiniou et al. (1996) observaron un incremento en el rendimiento de tejido magro y una disminución del espesor de grasa dorsal para dietas altas en fibra. La diferencia probablemente responde a diferentes niveles de ingesta de energía, y a tiempos de evaluación. La cantidad de triglicéridos del tejido adiposo depende del estado energético del animal, siendo la alimentación el factor determinante (Lopez Bote et al., 1999). Cuando el suministro de energía es suficiente para cubrir las necesidades de crecimiento, la síntesis de ácidos grasos en el tejido adiposo se debe, principalmente, a la presencia del ácido palmítico, y se ha señalado que en cerdos que consumen raciones con bajo concentración de grasas se registra un aumento en el porcentaje de ácido oleico en el tejido adiposo resultante de la síntesis de novo (Vehovský et al., 2018, Anderson et al., 1970).

Finalmente, las concentraciones de energía reducidas en la dieta se asocian con eficiencias alimentarias menores si se expresan sobre la base de kilogramo de alimento consumido por kilogramo de ganancia.

2.3. FORRAJES PARA CERDOS

La bibliografía ofrece una vasta información respecto al uso de forrajes en la etapa reproductiva de los cerdos, utilizados en sustitución del concentrado o como suplementos en las dietas. Se ha asociado la inclusión de harina de alfalfa deshidratada en cerdas gestantes con un aumento en el tamaño de la camada (Grieshop et al., 2001). Por otra parte, se reportan reducciones en la conducta estereotipada (Meunier-Salaün et al., 2001) cuando las cerdas reciben dietas fibrosas, lo que genera un mejor bienestar a los animales (Ramonet et al., 1999, Bergeron et al., 2000). Sin embargo, es menos vasta la información encontrada sobre el uso de forrajes en la etapa crecimiento-engorde y con resultados más disimiles (Edward, 2003). El listado de las especies forrajeras utilizadas para las evaluaciones es amplio, si bien las especies más evaluadas han sido la alfalfa (*Medicago sativa*) y los tréboles (*Trifolium sp*). Además, son diferentes las modalidades en que se evalúan, ya sea en condiciones de pastoreo directo o forraje cortado y ofrecido en forma fresca y/o conservado (Sommer y Sundrum, 2014, Fortina et al., 2011, Carlson et al., 1999).

Estas diferencias han generado variadas recomendaciones respecto al nivel óptimo de inclusión de forrajes para la etapa crecimiento-engorde. Edwards (2003) afirma que el consumo de forraje por parte de los cerdos depende, principalmente, del nivel de energía aportado por la dieta base suministrada. Varios autores reportaron valores de ingestión de forrajes en torno al 20 % de la materia seca en condiciones de concentrado restringido (Carlson et al., 1999, Danielsen et al., 2000). Sin embargo, cuando el concentrado fue administrado *ad libitum*, Hermansen et al. (2004) y Edwards (2003) reportaron consumos inferiores a 100 g de MS/día, lo que representa solamente del 2 al 8 % de los requerimientos de energía. Por otra parte, en situaciones de restricción del concentrado, se han registrado reducciones en la tasa de ganancia (Kambashi et al., 2014, Wallenbeck et al., 2014, Hermansen et al., 2004). Kass et al. (1980) observaron que niveles crecientes de harina de alfalfa en las dietas (0, 200, 400 o 600 g/kg de harina de alfalfa) ofrecidas a cerdos en crecimiento presentaban una disminución creciente en la digestibilidad de la materia seca, del nitrógeno y de los componentes de la pared celular en el intestino delgado y en el intestino grueso. Los resultados deprimidos de indicadores productivos probablemente impliquen una limitante para la adopción de forrajes como ingrediente en las dietas de cerdos en la etapa crecimiento engorde.

En Uruguay, el uso de los forrajes en las dietas está presente en una alta proporción de los establecimientos porcinos. Datos de la última encuesta porcina (MGAP, 2006) informan que en el 43 % de las explotaciones comerciales de cerdos, se ofrece el forraje en combinación con alimentos concentrados.

Investigadores nacionales han evaluado el uso de diferentes especies (alfalfa, tréboles, raigrás, achicoria) y niveles de restricción del concentrado desde el 10 al 50 % del consumo máximo voluntario, en condiciones de pastoreo directo o cortadas y ofrecidas en comederos (Battegazore, 2006, Bauza y Petrocelli, 2005, Ache et al., 1983). Los resultados coinciden en la reducción de los indicadores de crecimiento cuando el forraje representa más del 20 % de la materia seca ofrecida. Sin embargo, en estas evaluaciones, se ha considerado la sustitución de la materia seca de concentrado por forraje sin tomar en cuenta los aportes nutricionales de los forrajes para formular las dietas. Tampoco se han evaluado las posibles diferencias que

pueden generar en el aporte de nutrientes el tipo de fibra de los forrajes, que podrían ser diferentes en función del grado de solubilidad y, por tanto, en el aporte de energía que realicen las diferentes especies.

La alfalfa y la achicoria son forrajes que tienen diferentes composiciones químicas y características físicas de los componentes de la fibra. La fibra dietética de la alfalfa es rica en fracciones de fibra insoluble (Knudsen, 1997), mientras que la fibra dietética de la achicoria tiene mayor proporción de fibra soluble (Sun et al. 2008, Ivarsson, 2012), características que fundamentan la elección de estos forrajes para este trabajo experimental.

La fibra de la alfalfa es, principalmente, del tipo insoluble, compuesta por celulosa, lignina y xilanos, componentes que representan más del 90 % de la composición total de la FD (Knudsen, 1997, Chen et al., 2013). Esa composición le otorga determinadas propiedades físico-químicas que se vinculan con la reducción en la difusión de los componentes solubilizados hacia la mucosa (Hopwood et al., 2004, Wenk, 2001), el aumento en la tasa de pasaje y el incremento de la pérdida de nutrientes endógenos (Souffrant, 2001, Wilfart et al., 2007), características que afectan la utilización digestiva del forraje por los cerdos.

El cuadro 1 presenta información de composición química de alfalfa como harina y heno (Andersson y Lindberg, 1997, NRC, 2012, Bachmann et al., 2021).

Cuadro 1. Composición química de la alfalfa como harina o como heno

	MS	C	PC	EE	FC	FDN	FDA	LDA	FD	Fuente
	g/kg				g/kg MS					
Harina	s/d	98	174	17	341	465	386	s/d	704	(1)
Harina	923	101	163	17	s/d	420	322	83	s/d	(2)
Heno	903	110	193	23	s/d	370	310	66	s/d	(2)
Heno	936	73	151	18	313	474	374	82	s/d	(3)

(1) Andersson y Lindberg, 1997, (2) NRC, 2012, (3) Bachman et al. (2021). MS: materia seca; C: cenizas; PC: proteína cruda; EE: extracto al éter; FC: fibra cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra ácido detergente; LDA: lignina; FD: Fibra dietética total

Savón (2002), en estudios de caracterización de los alimentos fibrosos, reporta para la alfalfa valores de 26,5 % de solubilidad, 7,5 g agua/g MS de capacidad de retención de agua y 3,5 mL/g para el hinchamiento. El cuadro 2 presenta información de digestibilidad aparente *in vivo* de las fracciones y de la energía para la harina de hojas de alfalfa en etapa vegetativa (Andersson y Lindberg, 1997).

Cuadro 2. Digestibilidad total *in vivo* de los componentes químicos de la alfalfa

	MO	PC	FC	FDN	FD	E
Harina	0,40	0,49	0,20	0,35	0,35	0,35

MO: materia orgánica; PC: proteína cruda; FC: fbra cruda; FDN: fibra detergente neutro; FD: fibra dietética total; E: energía

Los estudios sobre el uso de alfalfa en la etapa crecimiento-engorde ocurren en la década del 80 y 90 (siglo pasado), con evaluaciones de niveles de inclusión que van de un 5 % (Lindberg y Adersson, 1995, Chen et al., 2013) hasta un 60 % (Kas et al., 1989). Los autores coinciden en el efecto de disminución creciente en la digestibilidad de la materia seca, del nitrógeno y de los componentes de la pared celular en el intestino delgado y en el intestino grueso a medida que aumenta el nivel de inclusión de alfalfa. Estos efectos estarían explicando la menor tasa de crecimiento observada para estos animales (Kass et al., 1980, Lindberg et al., 1998, Tracker y Haq, 2008). Asimismo, la dilución energética de la dieta generada por el incremento en el nivel de inclusión ocasiona como respuesta en los animales un incremento en el consumo (Ellis y Augspurger, 2001), con un mayor desarrollo del TGI, lo que afecta el rendimiento de carcasa (Whittemore et al., 2002, Stanogias et al., 1985), por lo cual varios autores recomiendan no superar el nivel del 5 % de inclusión de harina de alfalfa en la etapa de crecimiento-engorde para no afectar el crecimiento y el rendimiento final de los cerdos (Chen et al., 2013, Lindberg et al., 1995).

La achicoria (*Cichorium intybus* L.) es una especie bianual de la familia de las Asteraceae (compuesta) utilizada con frecuencia en sistemas lecheros por su alto

rendimiento y resistencia a la sequía (Barry, 1998). En los últimos años, ha sido un cultivo de interés para ser utilizado como alimento en la dieta de los cerdos, debido a su aporte en fibra soluble que realizan sus hojas y raíces, y por la vinculación de algunos de los componentes de esta fracción con efectos prebióticos. Los estudios de composición química cuantifican alto contenido de pectinas en las paredes celulares de las hojas de achicoria (Sun et al., 2006) y de inulina en las raíces (Castellini et al., 2007), siendo esta última de reconocida acción prebiótica (Jurgonbski et al., 2011. Gibson et al., 2004). El cuadro 3 presenta información de la composición química de achicoria como harina o ensilado.

Cuadro 3. Composición química de la achicoria

	MS	C	PC	EE	FC	FDN	FDA	LDA	FD	Fuente
	g/kg					g/kg MS				
Harina	s/d	256	195	16	s/d	268	s/d	107	418	(1)
Harina	950	167	316	26	s/d	332	268	177	s/d	(2)
Ensilado	263	114	162	s/d	231	379			s/d	(3)

1. Ivarsson et al. (2011), (2) Rattanasomboon et al. (2019), (3) Presto et al. (2019), NRC, 2012. MS: materia seca; C: cenizas; PC: proteína cruda; EE: extracto al éter; FC: fibra cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra ácido detergente; LDA: lignina; FD: fibra dietética.

Sun et al. (2006) cuantifican un 60 % de pectina en la pared celular de las hojas y en las nervaduras de las hojas. Su elevado contenido en fibra soluble sugiere que la inclusión de achicoria en la dieta podría tener menor efecto sobre la digestibilidad de los carbohidratos de la dieta y, por tanto, del valor energético, lo que la hace muy interesante como alimento alternativo. El cuadro 4 presenta información de digestibilidad aparente *in vivo* de las fracciones y de la energía para la harina de hojas de achicoria en etapa vegetativa (Ivarsson, 2010).

Cuadro 4. Digestibilidad total *in vivo* de los componentes químicos de la achicoria

	MO	PC	PNA	E
Harina	0,43	0,31	0,38	0,43

MO: materia orgánica; PC: proteína cruda; PNA: polisacáridos no almidón; E: energía

Son escasas las referencias bibliográficas encontradas acerca de los efectos en el crecimiento de los cerdos cuando se incluye achicoria en la dieta. El antecedente más relevante es el realizado por Ivarsson et al. (2010, 2011, 2012), quienes, utilizando inclusiones del 4, 8 y 16 % ofrecidas a cerdos de 25 kg, no encontraron diferencias significativas en el consumo diario de alimento, la ganancia diaria de peso y el índice de conversión alimenticia respecto a la dieta control con base en cereales. Sin embargo, los cerdos alimentados con dietas que incluían el 16 % de achicoria presentaron mayor peso de intestino grueso comparado con los cerdos alimentados con la dieta control, lo que afectó el rendimiento. En conclusión, estos autores recomiendan realizar evaluaciones de más largo plazo, es decir, en varias fases del crecimiento-engorde, para explorar mejor el potencial del forraje de achicoria como alimento en la nutrición porcina.

Un mayor contenido de pectinas altamente fermentables en las dietas con achicoria podría resultar en una producción mayor de ácido acético (Ivarsson et al., 2010, Liu et al., 2012). Ha sido comprobado que la mayor parte del acetato se transporta al tejido adiposo y al músculo esquelético, donde se usa en la síntesis de ácidos grasos o se oxida y se utiliza para la síntesis de ATP (Elia y Cummings, 2007, Wong, 2006).

Por otra parte, la fibra soluble viene siendo estudiada como herramienta para manipular el ecosistema intestinal, lo que mejora la salud de los animales. En este sentido, cerdos alimentados con fuentes de pectina, como la pulpa de la remolacha azucarera, presentan un aumento de la población de *Lactobacillus* en el colon (Konstantinov et al., 2004, Bikker et al., 2006). Liu et al. (2012) encontraron una correlación positiva entre la concentración de fibra dietética de achicoria y la

abundancia relativa de *Lactobacillus*, especie vinculada con efectos positivos en la salud intestinal de los cerdos (De Lange et al., 2010).

Finalmente, los efectos reportados varían según la composición de la fibra, el tiempo de adaptación de los animales a la dieta y los niveles de inclusión del alimento fibroso en la dieta (Noblet y Le Goff, 2001, Noblet et al., 1994, Stanogias et al., 1985, Kuan et al., 1983), que dejan planteada la necesidad de profundizar en el tema para comprender las variaciones encontradas. Investigaciones que estudien el aporte creciente de forrajes como alimento fibroso con distinta relación fibra soluble/fibra insoluble durante toda la etapa de recría y engorde de los cerdos, no han sido reportadas. Integrar información del efecto que ocasiona la fibra dietética con su diferente composición en fibra sobre el consumo y la digestibilidad de los nutrientes podría contribuir a identificar los niveles de inclusión que permitan alcanzar un desempeño productivo adecuado en relación con las dietas tradicionales (maíz y harina de soja) y con posibles impactos en relación a la excreción de nitrógeno menos volátil a nivel ambiental.

Trabajo publicado. AÑO 2020 VOL. 69 NUM. 268

Inclusión de forrajes con distinta relación de fibra soluble e insoluble en la dieta de cerdos

González, A.1@; Figueroa, V.1; Batista, C.1; Casal, A.1; Álvarez, A.1; Saadoun A.1 y Astigarraga, L.1

Departamento de Producción Animal y Pasturas. Facultad de Agronomía.

Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.

@agonzalez@fagro.edu.uy

PALABRAS CLAVE

Alimentos alternativos

Consumo

Eficiencia

Fibra dietética

ADDITIONAL KEYWORDS

Alternative feeds

Feed intake

Efficiency

Dietary Fibre

Resumen

Se evaluó la inclusión progresiva de dos forrajes con diferente contenido en fibra soluble (FS), en dietas de cerdos desde la recría a la terminación. Los tratamientos

fueron: dieta base testigo (T0) formulada en base a maíz y harina de soja; dieta base con alfalfa (T1) (Medicago sativa var. Chaná) o con achicoria (T2) (Cichorium intibus var. Lacerta) para las fases (F) de recría I (F1, 40-60 kg de PV), recría II (F2, 60-80 kg de PV) y terminación (F3, 80 a 100 kg de PV). Se utilizaron 27 animales con un peso inicial de 42 kg (\pm 2.3), en un diseño completamente al azar en tres tratamientos con nueve repeticiones. El peso final y la ganancia diaria no difirieron entre tratamientos. El consumo de fibra dietaria fue mayor en los tratamientos con forraje ($P < 0.05$), mientras el consumo de FS fue mayor en la dieta con achicoria que en la dieta con alfalfa ($P < 0.05$). Este mayor consumo de fibra dietaria estuvo asociado a un mayor peso de los componentes del tracto gastrointestinal de los cerdos, en particular el colon en T2 ($P < 0.05$). Como consecuencia, T2 presentó el menor rendimiento de carcasa (77.4%, $P < 0.05$), respecto a T0 y T1, los que fueron similares entre si (80.0 y 78.9% respectivamente, $P = 0.303$). La inclusión progresiva de forraje posibilitó una adaptación física del tracto, mediante el aumento del estómago y colón, pero dicha adaptación afectó el rendimiento de carcasa.

Summary

The progressive inclusion of two forages with different soluble fibre (FS) content, in diets from growing and finishing pig was evaluated. The treatments were: control diet (T0) formulated based on corn and soybean meal; base diet with alfalfa (T1) (Medicago sativa var. Chaná) or with chicory (T2) (Cichorium intibus var. Lacerta) for stages (F) of growing I (F1, 40-60 kg of PV), growing II (F2, 60-80 kg of PV) and finishing (F3, 80 to 100 kg of PV). 27 animals with an initial weight of 42 kg (\pm 2.3) were used in a random plot design in three treatments, with nine repetitions. The final weight and daily gain did not differ among treatments. Dietary fiber consumption was higher in forage treatments ($P < 0.05$), while FS consumption was higher in the chicory diet than the alfalfa diet ($P < 0.05$). This higher consumption of dietary fiber was associated with a higher weight of the components of the pigs' gastrointestinal tract, particularly the colon in T2 ($P < 0.05$). As a consequence, T2 presented the lowest carcass yield (77.4%, $P < 0.05$), compared to T0 and T1, which

were similar to each other (80.0 and 78.9% respectively, $P=0.303$). The progressive inclusion of forage allowed a physical adaptation of the tract, by increasing the stomach and colon but such adaptation affected the carcass yield.

Introducción

El uso de alimentos fibrosos ha adquirido un nuevo impulso, en respuesta a los beneficios que genera en la salud intestinal (Gong & Yang 2012, Lindberg 2014) y el bienestar de los animales (Presto et al. 2019). Sin embargo, ha quedado constatado que la fracción fibrosa en la dieta de los cerdos reduce la utilización de los nutrientes y de la energía (Le Goff et al. 2002, Noblet & Le Goff 2001), lo cual disminuye la ganancia diaria y el rendimiento de carcasa (Edwards 2003, Hansen et al. 2006). Pareciera que el aumento de la ingesta voluntaria de los animales que reciben forrajes en sus dietas es insuficiente para compensar la reducción en la concentración energética, y afectan así los indicadores productivos (Wüstholtz et al. 2017). No obstante, las respuestas productivas podrían variar con el tipo de fibra presente, teniendo en cuenta que sus componentes solubles e insolubles alteran de forma diferente el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI), y por tanto la utilización de los nutrientes. Lyu et al. (2018) encontraron coeficientes de digestibilidad aparente más elevados en dietas con alimentos que contenían mayor concentración de fibra soluble (FS) respecto a la fibra insoluble (FI). Es posible que alimentos que muestren relaciones diferentes de FS/FI originen respuestas productivas diferentes. Adicionalmente, estudios sobre la inclusión de forraje en dieta de cerdos, reportan cambios en la composición lipídica de la carne, con incrementos en el contenido de ácido grasos poliinsaturados y mejoras en la relación de ácidos grasos (n6/n3), lo cual puede resultar beneficioso para la salud humana (Edwards 2005, Hansen et al. 2006). El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de la inclusión progresiva de dos forrajes con diferente tipo de fibra (FS/FI) en una dieta convencional (maíz, harina de soja) ofrecida a cerdos en la etapa crecimiento y engorde sobre el consumo de alimento, rendimiento productivo y el perfil lipídico de la grasa intramuscular.

Material y Métodos

El experimento se desarrolló en la Estación de Pruebas Porcinas de la Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay, de enero a abril de 2016. Los tratamientos evaluados fueron (Tabla I): dieta testigo T0 (maíz, harina de soja y núcleo vitamínico–mineral) formulada de acuerdo con las recomendaciones nutricionales del NRC (2012) para cerdos; dieta con inclusión de alfalfa (T1) con los mismos ingredientes de T0 y alfalfa (Medicago sativa var. Chaná); dieta con inclusión de achicoria (T3) con los mismos ingredientes de T0 y achicoria (Cichorium intibus var. Lacerta). Los forrajes fueron cortados en estado vegetativo, a una altura aproximada de 3 cm sobre el suelo, deshidratados y molidos (5 mm) previo a ser incorporados como componentes de las raciones en niveles crecientes en función del peso vivo de los animales: 10% de inclusión en el rango de 40-60 kg PV (Recría I o Fase 1, F1), 20% de inclusión en el rango de 60-80 kg PV (Recría II o Fase 2, F2) y 30% de inclusión en el rango de 80 a 100 kg PV (Terminación o Fase 3, F3) respectivamente (Tabla I).

Tabla I. Ingredientes y composición química calculada de las dietas experimentales (% en base al alimento) (Ingredients and calculated chemical composition of the experimental diets (as-fed basis)).

Ingredientes	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Maíz	76.9	67.9	67.3	84.8	65.3	64	88	62.8	60.8
Harina Soja	21.2	20.1	20.8	13.6	13.4	14.8	11	5.9	7.9
Núcleo ⁽¹⁾	2.0	2.0	2.0	1.6	1.3	1.3	1.0	1.3	1.3
Forraje deshidratado	0	10	10	0	20	20	0	30	30
Composición química calculada									
PC, %	15.3	15.7	15.6	12.4	15.4	14.5	11.3	13.6	12.5
LIDA, %	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
EM, Mcal/kg	3.3	3.1	3.1	3.3	3.0	2.9	3.3	2.8	2.6

⁽¹⁾ Núcleo vitamínico-mineral: Humedad máx.10%; Minerales totales: 80%; Calcio: 16-21.5%; Fósforo: 6,5-8,5%; Solubilidad de P en ácido cítrico: 90%; Sodio: 6%; Lisina: 0,5%; Cenizas insolubles: 8%; Vitaminas. T0: Dieta testigo; T1: Dieta con alfalfa; T2: Dieta con achicoria; PC: Proteína cruda; LIDA: Lisina Digestible ileal aparente; EM: Energía Metabolizable.

Se utilizaron un total de 27 cerdos (hembras y machos castrados) de tres meses de edad con peso inicial 40 ± 3.6 kg provenientes de un cruzamiento de hembra Landrace x Large White con macho Híbrido terminal. Los animales fueron distribuidos en un diseño experimental de parcelas al azar con tres tratamientos y nueve repeticiones, siendo el animal la unidad experimental. Se alojaron en bretes

individuales, con comedero tipo batea y bebedero automático tipo chupete. Durante el experimento, las temperaturas registradas oscilaron entre 21 y 27 °C. La cantidad diaria de ración ofrecida se calculó en función a los requerimientos de Energía Metabolizable (EM) y Lisina digestible ileal aparente (LIDA) para mantenimiento y crecimiento de acuerdo con la ganancia diaria esperada de los animales (NRC 2012). El alimento se ofrecía a las 9:00 am y 3:00 pm, con la cantidad diaria dividida en partes iguales entre las dos comidas. Se tomaron muestras del ofrecido diariamente y así formar una muestra compuesta por tratamiento y por fase. El rechazo se retiraba diariamente a primera hora de la mañana, se identificaba por fecha y animal. Todas las muestras fueron conservadas a -20 °C para su posterior análisis químico. Los animales se pesaron semanalmente hasta el peso de faena, momento en que fueron enviados a un matadero comercial. Posterior a la faena se registró el peso de los componentes vacíos del tracto gastrointestinal: estómago (E), intestino delgado (ID), colon (CO) ciego (CI) y recto (RE). Pasadas las 24 horas del sacrificio, se registró el peso de carcasa con cabeza y se extrajo a la altura de la 12a costilla del lado izquierdo una muestra de 200 ± 20 g del musculo Longissimus thoracis, de cada animal. En ese punto se midió el espesor de grasa dorsal (EGD, mm). Las muestras de carne se colocaron en bolsas de plástico individuales y se envasaron al vacío a -20 °C para su posterior determinación de los ácidos grasos (AG, %). Las determinaciones de composición química de los ingredientes y de las dietas ofrecidas fueron realizadas en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Se determinó Materia seca (MS) (AOAC 2012, Ref.: 934.01), Cenizas (C), Nitrógeno (N), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácida (FDA) y Lignina, de acuerdo con la metodología descrita en AOAC (2012, 942.05, 954.01; 2002.04; 973.18 respectivamente). Se utilizó el método enzimático-gravimétrico para la determinación de Fibra dietaria (FD), soluble (FS) e insoluble (FI) de los ingredientes (AOAC 2012; 985.29, 993.19, 991.42). Para cuantificar el contenido de grasa intramuscular se realizó una extracción de los lípidos totales con la técnica de Folch, Lees and Stanley (1957) basada en el uso de una mezcla de cloroformo y metanol. Se realizó una metilación en frío de los ácidos grasos extraídos que se cuantificaron con una columna capilar CPSIL-88 de 100 m de longitud, acoplada a

un cromatógrafo Perkin Elmer Split/Splitless CIARUs 500. Las rampas de temperatura, presión de hidrógeno y aire se describen en Terevinto, Cabrera & Saadoum (2019). La ganancia diaria (GD, kg/día) se calculó con el peso inicial, el peso final y la duración en días de cada Fase. Se calculó la eficiencia a partir del índice de conversión del alimento (CA, kg MO/kg) determinado como la cantidad de MO consumida para ganar 1 kg de PV. Se calculó el rendimiento (R, %) como el cociente entre el peso de carcasa con cabeza y el peso vivo en el matadero. El peso de las vísceras fue expresado como porcentaje del peso vivo a la faena. Las variables consumo, peso vivo, ganancia de peso y conversión alimentaria, fueron analizadas utilizando PROC MIXED del paquete estadístico SAS (versión 9.1.3, 2006). El modelo incluyó el efecto Tratamiento, Fase, y sus interacciones, y el peso al inicio del experimento como covariable. Las variables peso post mortem, rendimiento, peso de vísceras, espesor de grasa dorsal y composición de ácidos grasos fueron analizadas con PROC MIXED, con efecto fijo Tratamiento. El animal se consideró como efecto aleatorio. Todas las medias fueron comparadas por test de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas a nivel de $P \leq 0.05$. Los procedimientos experimentales y las condiciones del cuidado de los animales fueron aprobados por el Comité de Ética de Experimentación Animal de la Universidad de la República, Uruguay (Exp. N° 021130-001011-16).

Resultados

La composición química de los forrajes utilizados en este experimento se presenta en la Tabla II. Los datos se expresan como porcentaje de la MO, debido al elevado contenido de cenizas que presentó el forraje de achicoria (30%, base seca). La achicoria y la alfalfa mostraron similares contenidos de MS, MO, PC, Lignina y de Fibra tanto FDN como FD. Sin embargo, la composición de la FD difirió entre forrajes, con valores de FI superiores para la alfalfa ($P=0.014$), mientras que la concentración de FS de la achicoria fue casi tres veces mayor a la concentración de FS de la alfalfa ($P<0.001$).

Tabla II. Composición química de los forrajes
(Chemical composition of forages).

Fraciones	Alfalfa	Achicoria	P
MS, g/kg Alimento	877 ± 5	882 ± 8	0.376
MO, g/kg MS	823 ± 68	693 ± 68	0.080
PC, g/kg MO	239 ± 35	208 ± 23	0.269
FDN, g/kg MO	517 ± 49	438 ± 43	0.101
FDA, g/kg MO	312 ± 25	281 ± 27	0.217
Lig. , g/kg MO	120 ± 7	116 ± 13	0.669
FD, g/kg MO	519 ± 29	527 ± 12	0.690
FI, g/kg MO	468 ^a ± 27	390 ^b ± 17	0.014
FS, g/kg MO	51 ^b ± 8	136 ^a ± 11	<0.001
FS/FI,%	11 ^b ± 1	35 ^a ± 2	<0.001

^{a,b}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente (P<0.05). MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra Detergente Neutro; FDA: Fibra Detergente Acida; Lig.: Lignina; FD: Fibra Dietaria; FI: Fibra Insoluble; FS: Fibra Soluble

Los pesos iniciales y finales de los animales no mostraron diferencias entre tratamientos (P>0.05), pero difirieron entre Fases (P<0.001) (Tabla III). La duración en días de cada Fase también fue similar entre tratamientos (22 días en promedio), por lo cual las ganancias diarias no mostraron diferencias entre tratamientos (P=0.129), aunque sí entre Fases (880, 903, 821 g/d para la Fase 1, Fase 2 y Fase 3 respectivamente, P=0.048).

Tabla III. Indicadores de performance para cada tratamiento y fase de crecimiento y engorde de cerdos (Indicators of performance for each treatment and phase of growing and finish pig).

Ítem	Fase 1			Fase 2			Fase 3			P		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	Trat.	Fase	Trat x Fase
PV inicial, kg	41.8	43.2	42.6	62.6	62.5	61.2	80.8	80.2	81.0	0.868	<0.001	0.481
PV final, kg	62.6	62.5	61.2	83.1	80.2	82.3	100.1	96.0	98.4	0.062	<0.001	0.392
Días	22	22	22	21	20	23	20	22	21	0.286	0.183	0.205
Ganancia, g/d	913	846	881	915	891	905	870	753	841	0.129	0.048	0.840

T0: Dieta testigo; T1: Dieta con alfalfa; T2: dieta con achicoria.

^{a,b}: medias de tratamientos con diferentes letras dentro de fase, difieren significativamente (P<0.05). PV: peso vivo.

El consumo de MO fue similar entre tratamientos en la Fase 1 y en la Fase 2, pero en la Fase 3 el consumo de MO en las dietas con inclusión de forraje fue mayor con

respecto a la dieta testigo ($P<0.027$). El consumo de PC fue mayor ($P<0.001$) para los tratamientos con forraje en todas las Fases (Tabla IV).

Tabla IV. Consumo diario y eficiencia de dietas con forrajes ofrecidas a cerdos en crecimiento y engorde
(Daily intake of diets with forages offered to growing and finish pigs).

Ítem	Fase 1			Fase 2			Fase 3			P		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	Trat	Fase	TratxFase
Consumo diario												
MS, kg/d	2.0	2.1	2.1	2.4 ^b	2.5 ^{ab}	2.7 ^a	2.7 ^b	2.9 ^b	3.1 ^a	<0.001	<0.001	0.023
MO, kg/d	1.8	1.9	1.9	2.3	2.4	2.4	2.5 ^b	2.7 ^a	2.8 ^a	<0.001	<0.001	0.137
PC, g/d	329 ^b	387 ^a	392 ^a	327 ^c	406 ^b	448 ^a	347 ^b	427 ^a	403 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
FDN, g/d	450 ^b	555 ^a	541 ^a	606 ^b	747 ^a	693 ^a	757 ^b	1000 ^a	956 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
FD, g/d	585	633	637	725 ^b	828 ^a	844 ^a	900 ^b	1051 ^a	1127 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
FI, g/d	550	591	585	683 ^b	773 ^a	756 ^a	850 ^b	970 ^a	976 ^a	<0.001	<0.001	0.004
FS, g/d	36 ^b	42 ^b	52 ^a	42 ^c	55 ^a	89 ^a	50 ^c	81 ^b	151 ^a	<0.001	<0.001	<0.001
CA, kg MO/kg	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5	2.8	2.9 ^b	3.7 ^a	3.4 ^{ab}	0.026	<0.0001	0.1202

^{a,b,c}: medias de tratamientos con diferentes letras dentro del periodo, difieren significativamente ($P<0.05$).

T0: Dieta testigo; T1: Dieta con alfalfa; T2: dieta con achicoria MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; PC: Proteína cruda; EM: Energía Metabolizable; FDN: Fibra Detergente Neutro; FD: Fibra Dietaria; FI: Fibra Insoluble; FS: Fibra soluble; CA: Conversión alimentaria.

El consumo de FDN fue diferente entre tratamientos ($P<0.001$). Los animales que recibieron dietas con forraje consumieron diariamente mayor cantidad de FDN, lo cual representó el 1% del PV en comparación al 0,8% del PV para la dieta testigo en cada fase de evaluación. Los consumos de FD y de FI fueron similares entre tratamientos en Fase 1, sin embargo, en la Fase 2 y la Fase 3 los animales recibiendo dietas con forrajes presentaron mayores consumos que el testigo ($P<0.001$). Para FS, los animales que recibieron T2 registraron en todas las fases, consumos diarios superiores respecto a T0 y T1 ($P<0.001$). La eficiencia calculada a partir de la cantidad de MO consumida por unidad de peso ganado fue similar ($P=0.454$) entre tratamientos con forrajes e inferior a la dieta Testigo (2.5 vs. 2.8 kg MO/kg, para dietas sin y con forrajes respectivamente, $P<0.026$)

Los cerdos del tratamiento T0 presentaron mayor peso de carcasa que los que recibieron dietas con forrajes ($P<0.001$), mientras que el R (%) fue similar entre los tratamientos T0 y T1, pero menor para el tratamiento T2 con respecto al tratamiento T0 ($P=0.019$). (Tabla V). En cuanto al peso relativo de vísceras a la faena en cada tratamiento, los animales que recibieron dietas con forrajes mostraron valores relativos mayores de peso de estómago (+15%, $P<0.001$), de peso de intestino delgado (+11%, $P<0.001$) con respecto a los animales del tratamiento T0. El peso relativo del colon fue mayor en los animales del tratamiento T2 (1,81% del PV), con

respecto a los animales de los tratamientos T1 y T0 que no difirieron entre sí (1.52% del PV en promedio, $p < 0.001$). El peso relativo de ciego (0.22% del PV) y recto (0.23% del PV) no difirió entre tratamientos (Tabla V).

Tabla V. Efecto del tratamiento sobre el peso de la canal, el rendimiento y los componentes del tracto gastrointestinal (como proporción del peso vivo) para los diferentes tratamientos (Effect of treatment on channel weight, performance and components of the gastrointestinal tract (as a proportion of body weight) for different treatments).

Ítem	T0	T1	T2	P
Peso 24h post mortem, kg	81.6 ^a	76.5 ^a	76.2 ^a	<0.001
Rendimiento, %	80.0 ^a	78.9 ^{ab}	77.4 ^b	0.019
Peso de las vísceras (expresado como % del PV)				
Estómago	0.64 ^b	0.75 ^a	0.76 ^a	<0.001
Intestino delgado	4.12 ^b	4.46 ^a	4.77 ^a	<0.001
Colon	1.60 ^b	1.45 ^b	1.81 ^a	<0.001
Ciego	0.22	0.22	0.23	0.613
Recto	0.21	0.23	0.24	0.317

T0: Dieta testigo; T1: Dieta con alfalfa; T2: dieta con achicoria ^{a,b}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente ($P < 0.05$). PV: peso vivo.

No se observó diferencias en el espesor de grasa dorsal (mm), en el perfil de ácidos grasos, en la relación AG ins/AG sat y tampoco en la composición relativa entre AG n6/n3 entre tratamientos (Tabla VI).

Tabla VI. Características de la canal y perfil de ácidos grasos (Characteristics of the carcass and fatty acid profile).

Item	T0	T1	T2	P
EGD, mm	19.38	17.78	20.89	0.083
Lípidos totales, %	2.37	2.72	2.89	0.764
AG Saturados, %	43.8	42.8	44.1	0.475
AG Insaturados, %	55.3	56.1	54.9	0.570
AG ins/AG sat,	1.27	1.31	1.25	0.533
AG n3, %	0.787	0.823	0.937	0.396
AG n6, %	4.86	5.46	5.29	0.396
AG n6/n3	6.35	6.70	5.89	0.413

T0: Dieta testigo; T1 Dieta con alfalfa; T2: Dieta con achicoria nivel de diferencia significativa ($P < 0.05$). EGD: Espesor de Grasa Dorsal, AG: Ácidos Grasos.

Discusión/Discussion

La composición química no varió significativamente entre ambos forrajes, si ésta es expresada en función del contenido de MO. De hecho, el alto contenido de cenizas en las muestras analizadas de achicoria podría estar asociado a una mayor

contaminación con tierra por su porte tipo roseta a nivel del suelo. El contenido de FD fue similar entre forrajes (429 g/kg MO en promedio), pero la proporción FS/FI fue tres veces mayor en el caso de la achicoria que en el caso de la alfalfa (Tabla II). En términos generales, los valores de composición química registrados tanto para alfalfa como para achicoria concuerdan con los reportados en la bibliografía (Moreno & Rosas 2012, Muniz & Silva 2014). La alfalfa ha sido uno de los forrajes más utilizados en las dietas de los cerdos, por su aporte en proteínas y minerales, a pesar de que su inclusión en las dietas puede disminuir la digestibilidad de los nutrientes por la presencia de componentes indigestibles de la pared celular (Chen et al. 2015). Los valores de FDN y FD son prácticamente similares en la alfalfa (517 y 519 g /kg MO respectivamente). La FD de la alfalfa está presente principalmente como celulosa y hemicelulosa, componentes de la fibra insoluble. Guillon et al (2007) reportan que un 94% de la fibra dietética de la alfalfa es fibra insoluble, similar a los valores hallados en este trabajo (90% FI/FD). La celulosa y la hemicelulosa pueden ser relativamente resistentes a la fermentación microbiana en el intestino grueso de los cerdos, dependiendo de la composición de la matriz que embebe la celulosa que la vuelve menos disponible al ataque microbiano con el avance de la madurez del órgano vegetal en el momento de la cosecha (Knudsen 2001). En este trabajo, dado el estado vegetativo al corte (30 días de crecimiento), es esperable que la fibra insoluble presentara un mayor grado de aprovechamiento en el tracto gastrointestinal de los animales. La achicoria ha sido un forraje utilizado frecuentemente en los sistemas de producción bovina, con escasos reportes de su uso en la alimentación de cerdos. Estudios de composición realizados por Sun et al (2006) describen que las paredes de las hojas de achicoria no están lignificadas y en ellas predominan los polisacáridos pépticos, que son altamente degradados por microorganismos. En este trabajo, el contenido de FDN presentó una tendencia a ser menor en la achicoria con respecto a la alfalfa (438 vs. 517 g/kg MO para achicoria y alfalfa respectivamente, $P=0.101$). Sin embargo, la achicoria presentó un contenido de FD similar a la alfalfa (517 y 527 g /kg MO respectivamente, $P=0.690$). El contenido de FD mayor a FDN que presenta la achicoria es atribuido al contenido de sustancias pépticas presente en la laminilla media de la pared celular, que se caracterizan por su alta solubilidad

(Barry 1998). De hecho, la FS de la achicoria fue 2.5 veces mayor al contenido de FS de alfalfa (136 g/kg MO vs. 51 g/kg MO para achicoria y alfalfa respectivamente, $P < 0.001$). Las pectinas formadas por un grupo heterogéneo de polisacáridos, homogalacturonanos, ramnogalacturonanos, están unidas por enlaces tipo α como los enlaces presentes en el almidón (Bach & Calsamiglia 2006) y su alto contenido de ácido urónico (80–90 g/kg de MS) las hace fermentable para los cerdos. (Ivarsson et al. 2010ba). Ivarsson (2010b) utilizando niveles de inclusión del 16% de harina de achicoria en dietas ofrecidas a lechones en posdestete, no obtuvo diferencias en consumo, ganancia diaria y eficiencia de conversión respecto a dietas en base a cereales. En el mismo sentido, los indicadores productivos presentados en la Tabla III no dan cuenta de una diferencia en las ganancias de los cerdos según el tipo de forraje incluido en la dieta, y tampoco difieren de las ganancias de los cerdos alimentados con la dieta T0. El peso final y la ganancia diaria fueron similares entre tratamientos dentro de la misma Fase experimental. Los valores de ganancia diaria reportados para este experimento se encuentran dentro del rango esperado para cada etapa de crecimiento, en animales que reciben dietas concentradas (NRC 2012). Diferentes fueron los resultados reportados por Hansen et al. (2006) y Wüstholtz et al. (2017), quienes obtuvieron ganancias menores a las esperadas al incluir forraje ensilado en sustitución del concentrado. Las menores ganancias diarias de los cerdos reportados por estos autores podrían estar asociada al contenido agua de los forrajes, que incrementa el efecto de distensión del tracto gastrointestinal de los animales y tiende a deprimir el consumo (Forbes 2009). En la Tabla IV se presenta el consumo de los animales según tratamiento dentro de cada Fase. Los rechazos promedio fueron 2, 7 y 4% con respecto a la cantidad ofrecida, para las dietas T0, T1 y T2 respectivamente. El consumo de MO fue similar entre tratamientos en la Fase 1 y en la Fase 2, pero difirió en la Fase 3, siendo mayor en las dietas con inclusión de 30% de forraje en comparación a la dieta T0 (+ 10%). En cuanto al consumo de proteína cruda, éste siempre fue mayor en el caso de la dieta con inclusión de forrajes, asociado al buen contenido de proteína de estas especies forrajeras como ya fuera reportado para alfalfa (Chen et al. 2015) y achicoria (Barry 1998). Sin embargo, como era de esperar, las mayores diferencias entre tratamientos se observan a nivel

del consumo de las fracciones Fibra. El consumo de fibra como FDN, siempre fue mayor (+20%) en los tratamientos con inclusión de forraje en cualquiera de las tres Fases, mientras que el consumo de FD fue mayor a la dieta Testigo luego del 20% de inclusión de forraje, esto es, en las Fase 2 y 3. Las recomendaciones nutricionales incluyen valores mínimos de 11% y máximos de 15% para FDN, en cerdos en crecimiento y terminación (NRC 2012, De Blas, Gasa & Mateos 2013). En este trabajo, el consumo de fibra como FDN alcanzó valores de 36% en la dieta consumida por los cerdos (Fase 3), lo cual representó aprox. 1% PV de FDN consumido. En cuanto al consumo diario de FD, no se encontraron referencias de recomendaciones, ni en cuanto al consumo de fibra soluble (FS) e insoluble (FI). El consumo de FI acompañó la misma tendencia observada en el consumo de FD, es decir fue mayor en las dietas con inclusión de forraje en las Fases 2 y 3 (+ 13% en promedio), pero las mayores diferencias se registraron en el consumo de FS, en particular en el caso de la dieta T2, que presentó mayores consumos en las tres Fases con respecto a la dieta T0 (+44%, +112%, +200% en Fase 1, Fase 2, y Fase 3 respectivamente). El mayor consumo de FS, podría estar explicado por la abundancia de pectinas de la achicoria (Barry 1998). Fleming and Lee (1983) reportan que la incorporación de pectinas, como fuente de FS, se asocia a una disminución de la ingesta de alimento como consecuencia de un aumento en el tiempo de tránsito a través del tracto gastrointestinal. No obstante, en este trabajo, el consumo de los animales que recibieron la dieta con inclusión de achicoria fue igual (Fase 1 y Fase 2) o mayor (+ 10% en Fase 3) que el consumo de los animales alimentados con la dieta T0. Es posible que la inclusión progresiva de forraje, en este caso de achicoria, en la dieta de los animales desde la recría I a la terminación acompañando así el crecimiento del animal, haya posibilitado una adaptación física del tracto al mayor contenido de FS, favoreciendo la utilización de los nutrientes y permitiendo mantener las respuestas productivas observadas en la Tabla III. Según Ellis and Augspurger (2001), los cerdos en crecimiento modifican su consumo con el objetivo de mantener constante la ingesta diaria de energía, hasta que las señales inhibitorias a lo largo del tracto limitan el mismo. Sin embargo, la sensibilidad a las señales del tracto gastrointestinal en el control a corto plazo de la ingesta parecería depender del

estado metabólico del cerdo y del tiempo de acostumbramiento a las dietas (Gregory 2002, McDonald et al. 2001). En este sentido, para las dietas de este trabajo, el incremento en el consumo estaría asociado al incremento de la ingesta de energía al disminuir la concentración energética de la misma por mayor nivel de inclusión de forraje. Esta compensación es posible dentro de determinados límites. Black et al. (1986) reportan como límite crítico inferior el valor de 2.35 Mcal de ED/kg, lo equivale a 2.26 Mcal de EM/kg, considerando una ineficiencia del 4% (Noblet et al. 1994). En este trabajo, la concentración energética de las dietas experimentales estuvo siempre por encima del límite crítico inferior reportado por estos autores (Tabla I). Los valores de energía, expresados como EM, presentaron un valor mínimo de 2.67 Mcal/kg para T2 en la Fase 3. Las restantes dietas presentaron valores superiores, por lo cual es posible pensar que los animales podían alcanzar sus requerimientos energéticos utilizando la estrategia de incrementar el consumo aun con niveles del 30% de inclusión de forraje (Fase 3), sin que las señales de saciedad actuaran como factor limitante. Al analizar la Conversión Alimenticia, se observa una disminución de los valores desde la Fase 1 a la Fase 3, acompañando el crecimiento del animal. Este comportamiento es el esperado, acorde con la evolución en la deposición grasa: músculo de los animales (Gaines, Peterson & Mendoza 2012). Por otra parte, esas disminuciones fueron mayores para las dietas con forraje y mayor nivel de inclusión, por ende, de menor densidad energética (Beaulieu, Williams, & Patience 2009), pero dentro de los rangos obtenidos para dietas fibrosas (Wüstholtz et al. 2017). El peso 24 h post mortem fue significativamente mayor en los cerdos alimentados con la dieta T0 en comparación a los animales alimentados con las dietas con inclusión de forraje (81.6 vs. 76.3 kg, $P < 0.001$). Esta diferencia está asociada al peso de las vísceras del tracto gastrointestinal. Las adaptaciones progresivas del tracto gastrointestinal que realizaron los animales a la mayor ingestión de fibra dietaria y de fibra soluble quedan de manifiesto en las diferencias encontradas en el peso vacío de los componentes del tracto (Tabla V). Los animales que recibieron dietas con mayor contenido de fibra presentaron mayor peso de estómago e intestino en comparación a los animales de la dieta Testigo. McDonald et al. (2001) observaron que la ingestión y la fermentación de la fibra dietética

aumentan el tamaño y la longitud de los órganos digestivos, incluido el intestino delgado, el ciego y el colon de los cerdos. Sin embargo, en este trabajo, fue mayor el peso del colon en el caso de la dieta con mayor contenido de fibra soluble (T2). Resultados similares fueron obtenidos por Ivarsson et al. (2010b) con niveles de inclusión del 16% en lechones, concluyendo que la achicoria estimula el desarrollo del colon. Finalmente, el rendimiento de carcasa fue menor para los animales alimentados con la dieta con inclusión de achicoria con respecto al rendimiento de los animales de la dieta T0 (77.4 vs. 80.0%, $P=0.019$). En cuanto al espesor de grasa dorsal no se observaron diferencias asociadas a la inclusión de forraje en la dieta (Tabla VI). El grado de engrasamiento de los animales de los tres tratamientos estuvo dentro de los valores esperados para el tipo genético utilizado (Viana et al. 2019, Wüstholtz et al. 2017). No se observaron diferencias en el perfil de ácidos grasos (saturados, insaturados y poliinsaturados) de la grasa intramuscular en los animales que recibieron las dietas con inclusión de forraje. Es de destacar que las diferencias en el contenido de PUFA en la grasa intramuscular ha sido reportado en animales que recibieron forraje fresco (Nilzén et al. 2001), mientras que en este ensayo el forraje fue suministrado seco. Tomando en cuenta el precio de mercado local (Cámara Mercantil de Productos del País [CMPP] 2018), la inclusión de los forrajes en las dietas representó una reducción en el costo por kg de ración, del 4% para la F1 y del 13% para F2 y F3 respecto a la dieta T0. Esta reducción de costos puede ser mayor si tomamos en cuenta que la producción de cerdos se encuentra integrada a un sistema de producción diversificado, donde los forrajes pueden ser producidos en el propio establecimiento.

Conclusion/Conclusions

Niveles crecientes de forraje en la dieta de cerdos desde la etapa de recría hasta la etapa de terminación permitieron obtener resultados productivos similares a los animales alimentados con una dieta convencional. La inclusión progresiva de forraje permitiría una adaptación física del tracto al mayor contenido de Fibra, pero se incrementaría el peso del tracto gastrointestinal reduciendo significativamente el rendimiento de carcasa. Sin embargo, el rendimiento de carcasa fue diferente entre

los tratamientos con forraje, siendo menor en el tratamiento con inclusión de achicoria por mayor peso relativo de las vísceras (colon). Esta diferencia podría estar asociada a la distinta relación Fibra Soluble/Fibra Insoluble entre ambos forrajes. La mayor inclusión de forraje deshidratado en la dieta de los cerdos no afectó el espesor de la grasa subcutánea, ni el perfil lipídico de la grasa intramuscular. A futuro, incluir el estudio de los parámetros de salud intestinal y de bienestar animal según tipo de Fibra Soluble/Insoluble en la dieta, permitiría avanzar en el conocimiento de los efectos de la inclusión de forrajes en la dieta de cerdos en crecimiento y terminación.

Bibliografía

- AOAC 2012, Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th (ed) AOAC International, Gaithersburg, MD, USA, Official Method.
- Bach, A & Calsamiglia, S 2006, 'La fibra en los rumiantes ¿Química o física?' FEDNA Madrid, España: FEDNA, pp. 99–113, http://fundacionfedna.org/sites/default/files/06CAP_VI.pdf.
- Barry, TN 1998, 'The feeding value of chicory (*Cichorium intybus*) for ruminant livestock', *The Journal of Agricultural Science*, vol. 131, no. 3, pp. 251–257.
- Beaulieu, AD, Williams, NH & Patience, JF 2009, 'Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets', *Journal Animal Science.*, 87, pp. 965–976.
- Black, JL, Campbell, RG, Williams, IH, James, KJ & Davies, GT 1986, 'Simulation of energy and amino acid utilization in the pig', *Research and Development in Agriculture*, vol. 3, pp. 121–145.
- Cámara Mercantil de Productos del País. Montevideo, Uruguay CMPP. <http://www.camaramercantil.com.uy/softis/documentos/dl/alimbala/>
- Chen, L, Zhang HF, Gao, LX, Zhao, F, Lu, QP & Sa, RN 2015, 'Effect of graded levels of fiber from alfalfa meal on intestinal nutrient and energy flow, and hindgut fermentation in growing pigs. *Journal Animal Science*, vol. 91, pp. 4757–4764.
- De Blas, G, Gasa, J & Mateos, GG 2013, *Necesidades nutricionales para ganado porcino*. Normas FEDNA, (segunda2a edición), Fundación Española para el

Desarrollo de la Nutrición animal.

http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/Normas%20PORCINO_2013rev2.pdf

- Ellis, M & Augspurger, N 2001, 'Feed intake in growing-finishing pigs', Swine Nutrition, A. J. Lewis and L. L. Southern ed. CRC Press, Boca Raton, FL. Edited by Austin j. Lewis and L. Lee Sothern. second edition, pp. 447–467 ISBN 0-8493-0696-5
- Edwards, SA 2003. 'Intake of nutrients from pasture by pigs', Proceedings of the Nutrition Society. Cambridge University Press, vol. 62, no. 02, pp. 257–265.
- Edwards, SA 2005, 'Product quality attributes associated with outdoor pig production', Livestock Production Science, vol. 94, no.1, pp. 5–14.
- Fleming SE & Lee, B 1983, 'Growth Performance and Intestinal Transit Time of Rats Fed Purified and Natural Dietary Fibers', Journal of Nutrition, vol. 113, pp. 592-601.
- Folch, J, Lees, M & Stanley, GHS. 1957, 'A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues'. Journal of Biological.
- Forbes, J 2009, 'Integration of pre-and post-absorptive factors in feed intake regulation and prediction with particular respect to the pig', Voluntary feed intake in pigs, Chapter 3, Edited by: David Torrallardona and Eugeni Roura. Wagening Academic Publishers. The Netherlands, 2009. 365 p. ISSN 978-90-8686-096-8
- Gaines, AM, Peterson, BA & Mendoza, OF 2012, Herd management factors that influence whole herd feed efficiency, In: Feed efficiency in swine, edited by JF Patience Wageningen Academic Publisher, The Netherland, pp. 15-36
- Gong, J & Yang, C 2012, 'Advances in the methods for studying gut microbiota and their relevance to the research of dietary fiber functions', Food Research International, vol. 48, no.2, pp. 916–929.
- Gregory, PC 2002, 'Role of the intestine in regulation of food intake in growing pigs', Chapter 14, Biology of the Intestine in Growing Animals, pp. 427–464.

- Guillon, F & Champ, M, 2000, 'Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology', *Food Research International*, vol. 33, no.3, pp. 233–245.
- Guillon, F, Saulnier, L, Robert, P, Thibault, JF & Champ, M 2007, Chemical structure and function of cell wall through cereal grains and vegetable samples. In: *Dietary Fibre Components and Functions*, Edited by: Salovaara H, Gates F, Tenkanen M, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. pp. 31-64
- Hansen, LL, Claudi-Magnussen C, Jensen SK, Andersenet HJ, 2006, 'Effect of organic pig production systems on performance and meat quality', *Meat Science*, vol.74, no. 4, pp. 605–615.
- Ivarsson, E, Frankow-Lindberg, BE, Andersson, HK & Lindberg, JE 2010a, 'Effect of inclusion level of chicory (*Cichorium intybus* L) and ribwort (*Plantago lanceolata* L) forage in a cereal-based diet on dietary fibre digestibility in weaned piglets of different age', *Livestock Science*, vol. 134, no. 1–3, pp. 202–204.
- Ivarsson, E, Frankow-Lindberg, BE, Andersson, HK & Lindberg, JE 2010b, 'Growth performance, digestibility and fecal coliform bacteria in weaned piglets fed a cereal-based diet including either chicory (*Cichorium intybus* L) or ribwort (*Plantago lanceolata* L) forage' *Animal*, vol. 5, no. 04, pp. 558–564.
- Knudsen, KEB 2001, 'The nutritional significance of "dietary fibre" analysis', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no. 1, pp. 3–20.
- Le Goff, G, Dubois, S, van Milguen, J & Noblet, J 2002, 'Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilization of energy in growing and finishing pigs', *Animal Research*, vol. 51, no. 3, pp. 245–259.
- Lindberg, JE 2014, 'Fiber effects in nutrition and gut health in pigs, *Journal of Animal Science and Biotechnology*'. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, vol. 5, no. 15 pp.1-7.
- Lyu, ZQ, Huang, CF, Li, YK, Li, PL, Liu, H, Chen, YF, Li, DF & Lai, CH 2018, 'Adaptation duration for net energy determination of high fiber diets in growing pigs', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 241 pp. 15–26.

- Maichel, P & Rérat, A 1998, 'Effect of adding sugar beet fibre and wheat bran to a starch diet on the absorption kinetics of glucose, amino-nitrogen and volatile fatty acids in the pig', *Reproduction Nutrition Development*, vol. 38, pp. 49-68.
- McDonald, DE, Pethick, DW, Mullan, BP & Hampson, DJ 2001, 'Increasing viscosity of the intestinal contents alters small intestinal structure and intestinal growth, and stimulates proliferation of enterotoxigenic *Escherichia coli* in newly-weaned pigs', *British Journal of Nutrition*, vol. 86, pp. 487-498.
- Moreno, LG & Rosas, BSA 2012, 'Caracterización fenológica y nutricional de achicoria (*Cichorium intybus*) y llantén (*Plantago lanceolata*) para pastoreo', Tesis de grado, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay, vista 22 de agosto, 2018, <http://164.73.52.13/iah/textostesis/2012/3820mor.pdf>
- Muniz, EME & Silva, AD 2014, 'Inclusión de alfalfa en la dieta de ovinos en crecimiento alimentados con una ración totalmente mezclada: efecto en el comportamiento ingestivo y tasa de ingestión', Tesis de grado, Universidad de la República, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay, vista 22 de agosto, 2018, http://www.fvet.edu.uy/images/ContenidoMenu/Biblioteca/TesisdeGrado2014/FV-30915_0.pdf
- Nilzén, V, Babol, J, Dutta, PC, Lundeheim, N, Enfält, A-C & Lundström, K 2001, 'Free range rearing of pigs with access to pasture grazing — effect on fatty acid composition and lipid oxidation products', *Meat Science*, vol. 58, no.3, pp. 267-275.
- NRC National Research Council 2012, *Nutrient requirements of swine: Eleventh Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>.
- Noblet, J, Fortune, H, Shi, XS, & Dubois, S 1994, Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354.
- Noblet, J & Le Goff, G 2001, 'Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no.1, pp. 35-52.

- Presto Åkerfeldt, M, Nihlstrand, J, Neil, M, Lundeheim, N, Andersson, HK & Wallenbeck, A 2019, 'Chicory and red clover silage in diets to finishing pigs—influence on performance, time budgets and social interactions', *Organic Agriculture*, 9(1), pp. 127–138. doi: 10.1007/s13165-018-0216-z.
- Sun, X, Andrew, IG, Joblin, KN, Harris, PJ, McDonald, A & Hoskin SO 2006, 'Polysaccharide compositions of leaf cell walls of forage chicory (*Cichorium intybus* L.)', *Plant Science*, vol. 170, pp. 18–27.
- Terevinto, A, Cabrera MC & Saadoum A 2019, 'Oxidative stability, fatty acid composition and health lipid indices of *Longissimus dorsi* muscle from Aberdeen Angus steers produced in different feeding systems', *Ciência Rural*. Universidade Federal de Santa Maria, vol. 49, no. 12. doi: 10.1590/0103-8478cr20190537.
- Van Soest, PJ, & Wine RH 1967, Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 50:50–55.
- Viana, S, dos Reis, LM, Schultz, C, Soares, MH, Teixeira, D, Amorim, G & Saraiva, A 2019, 'Metabolizable energy levels in diets with high lysine for growing and finishing pigs', *Seminário: Ciências Agrárias*, no. 1, p. 365, viewed 12 September 2019, <<http://search.ebscohost.com.proxy.timbo.org.uy:2048/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.38082b3f64454d77ac27d3fecdb37c14&lang=es&site=eds-live>>.
- Wüstholtz, J, Carrasco, S, Bergera, U, Sundrumb, A, & Bellofet, G 2017. 'Fattening and slaughtering performance of growing pigs consuming high levels of alfalfa silage (*Medicago sativa*) in organic pig production', *Livestock Science*, 200, pp. 46–52. doi: 10.1016/j.livsci.2017.04.004.

Trabajo aceptado junio 2022, en edición

Efecto de la fuente de fibra en la digestibilidad y la retención de nitrógeno en cerdos

¹González, A. @; ¹Figueroa, V.; ²Bentancur, O. y ¹Astigarraga, L.

¹Facultad de Agronomía Universidad de la República. Montevideo Uruguay; ²Departamento de Biometría y Estadística. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo Uruguay;

@Email de correspondencia: agonzalez@fagro.edu.uy

PALABRAS CLAVE

Alimentos alternativos

Consumo.

Fibra dietética

Forraje.

ADDITIONAL KEYWORDS

Alternative feeds.

Dietary Fibre.

Feed intake.

Forage.

Resumen

Se evaluó el efecto de la inclusión de dos forrajes con diferente contenido de fibra soluble (FS) en dietas para cerdos en tres estados fisiológicos sobre el consumo y la digestibilidad aparente (DA) de nutrientes y la retención del nitrógeno (RN). Para ello se utilizó nueve animales, machos castrados en una secuencia de tres pruebas de digestibilidad in vivo, cada prueba correspondiente a una fase de peso. Los

tratamientos fueron: dieta base testigo (T0) formulada en base a maíz y harina de soja; dieta base con alfalfa (T1) (Medicago sativa var. Chaná) o con achicoria (T2) (Cichorium intybus var. Lacerta) para las fases (F) de recría I (F1, 40-60 kg de PV), recría II (F2, 60-80 kg de PV) y terminación (F3, 80 a 100 kg de PV). El diseño fue de medidas repetidas utilizando Ar(1) y un nivel de significancia del 5%. La inclusión de forraje redujo el consumo de materia orgánica (CMO) en T1 para F1, mientras que en F2 y F3 fueron similar a T0. La DA de la materia orgánica fue menor en las dietas con forraje para todas las fases mientras que la DA de la fibra no se redujo con el incremento del nivel de forraje. No hubo reducción en la DA de la fibra cuando el forraje se ofreció en forma continua hasta el nivel de inclusión 30% para animales en terminación, con un mejor registro en el CMO en animales que recibieron T2. Los datos obtenidos apoyan la afirmación de que puede ser económicamente factible para los criadores de cerdos de pequeña escala utilizar ingredientes alimenticios ricos en fibra disponible y de bajo costo.

Summary

The effect of the inclusion of two forages with different fiber composition on the apparent digestibility of the nutrients and the nitrogen retention of diets offered to pigs in three physiological states was evaluated. For this, nine animals were used, castrated males in a sequence of three in vivo digestibility tests, each test corresponding to a weight phase. The treatments were: control base diet (T0) formulated based on corn and soybean meal; base diet with alfalfa (T1) (*Medicago sativa* var. Chaná) or with chicory (T2) (*Cichorium intybus* var. Lacerta) for phases (F) of rearing I (F1, 40-60 kg of LW), rearing II (F2, 60-80 kg of LW) and finishing (F3, 80 to 100 kg of LW). The design was repeated measures using Ar (1) and a significance level of 5%. There was no reduction in digestive fiber utilization when forage was offered continuously up to the 30% inclusion level for finishing animals. The increased fiber level in forage diets resulted in an increase in fecal N excretion, while there was no effect on urinary N excretion and apparent N retention. The data obtained support the claim that it may be economically feasible for small-scale pig farmers to use low-cost, available high-fiber feed ingredients.

Introducción

Ante la demanda creciente por el desarrollo de sistemas de producción porcina más sustentable, el uso de los forrajes en las dietas de cerdos en crecimiento y engorde vuelve a ser un tema de interés (Pietrosemoli & Tang 2020, Sorensen & Schrader 2019). Si bien se ha demostrado que estos alimentos proveedores de fibra contribuyen a mejorar la salud intestinal y favorecen el bienestar de los animales (Chen et al. 2020, Zhao et al. 2018), ha quedado señalado que la fibra deprime la digestibilidad de la materia orgánica y por lo tanto el aporte de nutrientes y de energía en estas dietas (Wang et al. 2016, Ivarsson et al. 2012). La fracción fibrosa agrupa los componentes de la pared celular de los vegetales quedando limitada su cuantificación por el método usado para la determinación (Knudsen 2001). El método de los detergentes (Van Soest et al. 1991), cuantifica principalmente la fracción insoluble de la pared celular compuesta por hemicelulosas insolubles, celulosas y lignina dejando sin cuantificar las pectinas, mucílagos, gomas y β -glucanos (Grieshop et al. 2001). Estos componentes son cuantificados cuando la pared celular se analiza por el método enzimático-gravimétrico (AOAC 2012) a partir del cual se cuantifica la fibra dietética total con sus componentes solubles e insolubles brindando más información sobre la disponibilidad de la pared. De acuerdo con la cantidad de fibra soluble y fibra insoluble será el grado de fermentación y producción de ácidos grasos volátiles proveedores de energía para el animal (Knudsen et al. 2015, Zijlstra et al. 2012). Se han reportado valores menores al 50% para la digestibilidad de la fibra insoluble (Urriola et al. 2010, Wenk 2001), y valores de 92% para la fibra soluble (Urriola et al. 2010). También es posible esperar diferencias en la digestibilidad del nitrógeno (N), atribuido a una mayor actividad bacteriana en el intestino grueso, incrementando las pérdidas de N en heces (Grieshop et al. 2001). Por otro lado, se sabe que la digestibilidad de nutrientes y energía de los ingredientes de dietas ricas en fibra podría verse afectada por el peso vivo (PV) de los cerdos (Pu et al. 2020, Jha & Berrocoso 2015). La alfalfa y la achicoria son forrajes utilizados en las dietas de cerdos, ingredientes que tienen diferentes composiciones químicas y características físicas de las fracciones de fibra.

La fibra dietética de la alfalfa es rica en fracciones de fibra insoluble (Knudsen 1997) mientras que la fibra dietética de la achicoria tiene más alta las fracciones de fibra más soluble (Sun et al. 2006, Ivarsson 2012). No se encontraron estudios centrados en los efectos interactivos del peso corporal y las fuentes de fibra de los forrajes sobre la digestibilidad de los nutrientes en cerdos en crecimiento. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar los efectos del peso vivo y las fuentes de fibra sobre la digestibilidad de los componentes de la fibra y el balance nitrogenado de cerdos en crecimiento alimentados con dietas que contienen niveles crecientes de alfalfa o achicoria.

Material y Métodos

Los procedimientos experimentales y las condiciones de cuidado de los animales fueron aprobados por el Comité de Ética de Experimentación Animal de la Universidad de la República, Uruguay (Expediente No. 021130-001011-16).

Se realizó una secuencia de tres pruebas de digestibilidad y metabolismo *in vivo* en la Estación de Pruebas de Porcinos, de la Facultad de Agronomía (Montevideo) desde enero a abril de 2016. Se utilizaron nueve cerdos, machos castrados, genéticamente homogéneos, (cruzamiento de madres Large White x Landrace y padre híbrido terminal) provenientes del mismo establecimiento. Los animales fueron pesados al inicio y al final de cada prueba y recibían una cantidad de alimento calculada para cubrir los requerimientos de Energía Metabolizable (EM) y Lisina digestible ileal aparente (LIDA) para el mantenimiento y crecimiento de acuerdo con una ganancia diaria esperada (NRC 2012). Los forrajes evaluados fueron: alfalfa (*Medicago sativa* var. Chaná); y achicoria (*Cichorium intybus* var. Lacerta), seleccionadas por su diferente contenido de fibra soluble (FS). En cada prueba de digestibilidad se evaluó un nivel de inclusión de forraje para cada fase de peso (F) correspondiendo la prueba 1 al nivel de inclusión del 10% de forraje en dietas ofrecidas a cerdos en la fase de peso entre 40 y 60 kg (F1), prueba 2 al nivel de inclusión del 20% de forraje en dietas ofrecidas a cerdos en la fase de peso entre 60 y 80 kg (F2) y prueba 3 al nivel de inclusión del 30% de forraje en dietas ofrecidas a cerdos en la fase de peso entre 80 y 100 kg (F3). Los tratamientos evaluados fueron: dieta testigo T0 (maíz, harina

de soja y núcleo vitamínico-mineral); dieta con inclusión de alfalfa (T1) con los mismos ingredientes de T0 y alfalfa; dieta con inclusión de achicoria (T3) con los mismos ingredientes de T0 y achicoria. Los animales fueron alojados en bretes individuales equipados con comedero tipo batea y bebedero tipo chupete donde recibían la dieta experimental y fueron pesados semanalmente hasta alcanzar el peso promedio de la F momento en el que fueron subidos a las jaulas metabólicas. Las jaulas estaban equipadas con comedero tipo batea y bebedero automático tipo chupete, con recipientes separados para la recolección de heces y de orina, ubicadas en una sala con temperatura adecuada al rango óptimo recomendado en función al peso vivo (NRC 2012) y un ciclo de luz-oscuridad de 12 h. El tiempo de duración para cada prueba fue de 11, 8 y 7 días, siendo 6, 3 y 2 los días de adaptación a la jaula y 5 días de recolección de heces y orina para la prueba 1, 2 y 3 respectivamente. La dieta fue suministrada en dos partes iguales a las 9:00 am y 3:00 pm. Para cada prueba y tratamiento se tomaron muestras diariamente del alimento ofrecido, formando una muestra compuesta. A primera hora de la mañana se retiraba el rechazo, se identificaba por fecha y animal. Todas las muestras fueron conservadas a -20 °C para su posterior análisis químico. La totalidad de las heces se recolectaron diariamente, se pesaron y conservaron en bolsas plásticas a -20 °C. Al finalizar cada prueba, las heces se homogeneizaron y se tomaron muestras de 500 g para su análisis en el laboratorio. La orina se colectó en baldes plásticos conteniendo 30 ml de HCl ppa 6 Normal. Diariamente se midió el volumen excretado y se tomaron submuestras correspondientes del 5% del volumen total las cuales se conservaron a -20 °C hasta su análisis en laboratorio.

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. En los forrajes, en las dietas y en las heces se realizaron las determinaciones de: Materia seca (MS), Cenizas (C), Nitrógeno (N), y Fibra Detergente Neutro (FDN) de acuerdo con la metodología descrita en AOAC 2012 (Ref: 934.01; 942.05; 988.05; 920.39; 2002.04; respectivamente). Se utilizó el método enzimático-gravimétrico para la determinación de Fibra dietética (FD), y Fibra insoluble (FI) de forrajes, dietas y heces. (AOAC 2012; 985.29, 993.19, 991.42). En la orina se determinó N. La fibra soluble fue calculada por la diferencia

entre FD y FI. Las variables estudiadas fueron: digestibilidad aparente de la materia orgánica (DAMO), de la fibra detergente neutro, (DAFDN), fibra dietética (DAFD), fibra insoluble (DAFI) y fibra soluble (DAFS). Se calculó el coeficiente de digestibilidad aparente a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de digestibilidad (DA)} = (\text{nutriente ingerido} - \text{nutriente en heces}) / \text{nutriente ingerido}$$

Para evaluar la utilización de nitrógeno las variables analizadas fueron: consumo de nitrógeno, excreción de nitrógeno en heces, excreción de N en orina, retención de nitrógeno (RN) y el valor proteico neto (VPN) de las dietas experimentales. Los indicadores de retención de nitrógenos fueron calculados como:

$$\text{Retención de Nitrógeno (RN)} = \text{N ingerido} - \text{N heces} - \text{N orina}$$

$$\text{Valor Proteico Neto (VPN)} = (\text{N ingerido} - \text{N heces} - \text{N orina}) / \text{N ingerido}$$

Las variables fueron analizadas utilizando PROC MIXED del paquete estadístico SAS (versión 9.1.3, 2006). El modelo incluyó el efecto tratamiento, la fase y sus interacciones. La correlación entre medidas repetidas se ajustó mediante un modelo autoregresivo de orden 1. Se realizaron contrastes ortogonales comparando las medias de los tratamientos con forrajes con la media del testigo (Contraste 1: C1) y las medias de los tratamientos con forrajes entre sí (contraste 2: C2). Para todas las pruebas estadísticas se usó un nivel de significancia de 5%.

Resultados

Los cerdos no mostraron señales de problemas de salud durante el experimento. La información de composición de los forrajes (Tabla I) y de las dietas (Tabla II) se presenta en relación con la concentración de MO, debido al elevado contenido de cenizas que presentó el forraje de achicoria para este experimento.

Tabla I. Composición química de los forrajes utilizados en cada fase de peso
(Chemical composition of the forages used in each weight phase)

Fase (F)	F1		F2		F3	
	Alfalfa	Achicoria	Alfalfa	Achicoria	Alfalfa	Achicoria
MS, g/kg alimento	883	891	874	875	873	882
C, g/kg MS	250	364	167	324	114	232
MO, g/kg MS	750	636	833	676	886	768
PC, g/kg MO	204	190	274	234	241	201
FDN, g/kg MO	527	481	484	438	495	454
FD, g/kg MO	569	550	516	529	525	542
FI, g/kg MO	514	419	471	393	465	389
FS, g/kg MO	55	131	45	137	60	153
Lig, g/kg MO	114	103	112	124	124	142

MS: Materia seca; C: Cenizas; MO: Materia orgánica; PC: Proteína Cruda;

FDN:Fibra Detergente Neutro; FD: Fibra Dietética; FI: Fibra Insoluble; FS:

Fibra soluble; Lig: Lignina. Fases: F1 de 40 a 60 kg PV, F2 de 60 a 80 kg PV,

F3 de 80 a 100 kg PV

La fibra analizada como FDN, FI registró valores superiores en el forraje de alfalfa con respecto al forraje de achicoria, mientras que el mayor contenido de FS fue cuantificado en el forraje de achicoria, superando 2,5 veces el valor registrado en el forraje de alfalfa. Como resultado de la inclusión de los forrajes en las dietas experimentales (T1 y T2) en sustitución del maíz y la harina de soja, se vieron incrementos en las concentraciones de fibra comparado a T0, principalmente en los niveles de inclusión del 20 y 30%. Del mismo modo quedó de manifiesto en las dietas, las diferencias observadas en la composición de la fibra de los forrajes, donde T2 mostró una mayor concentración de FS con respecto a T0 y T1. En tanto que, la menor proporción de harina de soja es compensada por la concentración proteica de los forrajes, alcanzando en T1 y T2 niveles numéricamente mayor de N respecto a T0.

Tabla II. Ingredientes y composición química analizada de las dietas experimentales para cada fase de peso (Ingredients and analysed chemical composition of experimental diets for each phase)

Fase (F)	F1			F2			F3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Composición de las dietas experimentales, base fresca (%)									
Maíz	77	68	67	84	65	64	87	63	61
Harina Soja	21	20	21	14	14	15	11	6	8
Núcleo ⁽¹⁾	2	2	2	2	1	1	2	2	2
Forraje	0	10	10	0	20	20	0	30	30
Composición química analizada									
MO, g/kg MS	955	936	912	966	939	915	964	917	895
PC, g/kg MO	171	196	203	140	170	184	133	161	141
FDN, g/kg MO	175	221	166	160	190	190	149	257	204
FD, g/kg MO	176	215	225	175	240	232	186	253	279
FI, g/kg MO	146	186	175	148	211	182	151	223	230
FS, g/kg MO	30	29	50	27	29	50	35	31	49

⁽¹⁾ Núcleo vitamínico-mineral: Núcleo Terminación SUPRA: Humedad máx.10%; Minerales totales: 80%; Calcio: 16-21,5%; Fósforo: 6,5-8,5%; Solubilidad de P en ácido cítrico: 90%; Sodio: 6%; Lisina: 0,5%; Cenizas insolubles: 8%; Vitaminas. T0: Dieta control; T1: Dieta con alfalfa; T2: Dieta con achicoria. MO: Materia Orgánica; PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra Detergente Neutro; FD: Fibra Dietética; FI: Fibra Insoluble; FS: Fibra Soluble. Fases: F1 de 40 a 60 kg PV, F2 de 60 a 80 kg PV, F3 de 80 a 100 kg PV

El CMO fue diferente entre tratamientos, en la F1, siendo la dieta con inclusión de forraje de alfalfa la que presentó el menor registro respecto a T0 ($P=0,05$) y a T2 ($P=0,017$). Para la F2 y F3 el CMO fue similar entre tratamientos ($P=0,081$; $P=0,051$ respectivamente), donde los animales consumiendo las dietas con forrajes

presentaron valores de consumo inferiores a los ofrecidos (Tabla III). Si bien se cumplió el protocolo experimental, subiendo los animales a las jaulas con el peso dentro del rango establecido para cada fase, los animales que recibieron la dieta con alfalfa (T1), cuantitativamente tuvieron el peso medio menor en F1 y significativamente diferente al finalizar la F2 respecto a los animales de T0 ($P=0.011$) y respecto a los animales de T0 ($P=0,006$) y T2 ($P=0,021$) al finalizar F3. Diferente fue la respuesta de los animales que recibieron la dieta T2 los que obtuvieron un peso final similar al de los animales recibiendo la T0 ($P=0,41$). El consumo de FDN fue diferente en el nivel de inclusión del 20 (F2) y 30% (F3) de forraje, donde T1 fue superior a T0 para la F2 ($P=0.007$) y superior a T0 y a T2 en la F3 ($P=0,003$), mientras que para el consumo de fibra determinada como FD, fueron diferentes y superiores los valores en T2 respecto a T0 para todas las fases ($P<0.005$) y a T1 para la F1 ($P=0,005$) y para la F3 ($P=0,001$). En la F2 el consumo de FD fue similar entre las dietas con forrajes ($P=0,558$). En correspondencia a la composición de la fibra de los forrajes y el CMO registrado para cada fase en este experimento, quedó de manifiesto diferencias en el consumo de fibra insoluble (CFI) y de fibra soluble (CFS). En todas las fases de evaluación, el CFS fue superior para T2 respecto al CFS en T0 y en T1 ($P=0,001$) mientras que para el CFI no hubo diferencias entre las dietas en la F1 ($P=0,132$), pero con un registro de CFI superior en la F2 para el T1 ($P=0,012$) y en la F3 para T2 ($P=0,005$).

Tabla III. Efecto de la fuente y el nivel de fibra sobre la ingesta diaria y la digestibilidad en las dietas ofrecidas a cerdos en tres fases de peso (Effect of the source and level of fiber on the daily intake and digestibility in the diets offered to pigs in three weight phases)

Fases (F)	F1(12 días)			F2 (8 días)			F3 (7 días)			P					
	Contrastes ⁽²⁾												T	F	T x F
Tratamiento ⁽¹⁾	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	C1	C2				
Peso vivo inicial, kg	48,50	48,00	50,48	71,00	65,67	69,77	85,83 ^a	78,67 ^b	82,96 ^{ab}	0,169	0,092	0,118	0,001	0,246	
Peso vivo final, kg	56,37	51,33	54,90	75,83 ^a	69,00 ^b	73,18 ^{ab}	91,80 ^a	83,97 ^b	89,92 ^a	0,043	0,050	0,036	0,001	0,459	
Ganancia diaria, kg/d	0,61 ^a	0,26 ^b	0,37 ^{ab}	0,60	0,42	0,39	0,85	0,76	0,99	0,100	0,342	0,167	0,001	0,441	
Consumos (C), kg/d															
MO	1,98 ^a	1,63 ^b	1,93 ^a	2,39	2,20	2,22	2,56	2,38	2,62	0,052	0,038	0,031	0,001	0,263	
FDN	0,35	0,32	0,32	0,38 ^b	0,45 ^a	0,42 ^{ab}	0,38 ^c	0,61 ^a	0,54 ^b	0,001	0,043	0,001	0,001	0,001	
FD	0,35 ^b	0,35 ^b	0,43 ^a	0,42 ^b	0,53 ^a	0,51 ^a	0,48 ^c	0,60 ^b	0,73 ^a	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001	
FI	0,29	0,30	0,34	0,35 ^c	0,47 ^a	0,40 ^b	0,39 ^c	0,53 ^b	0,60 ^a	0,001	0,332	0,001	0,001	0,001	
FS	0,06 ^b	0,05 ^c	0,10 ^a	0,06 ^b	0,06 ^b	0,11 ^a	0,09 ^b	0,07 ^c	0,13 ^a	0,001	0,001	0,001	0,001	0,100	
Coeficiente de digestibilidad aparente (DA)															
MO	0,85 ^a	0,77 ^b	0,77 ^b	0,90 ^a	0,84 ^b	0,81 ^b	0,89 ^a	0,79 ^b	0,79 ^b	0,001	0,343	0,001	0,001	0,089	
FDN	0,59 ^a	0,49 ^{ab}	0,46 ^b	0,59 ^a	0,54 ^{ab}	0,47 ^b	0,59	0,54	0,59	0,006	0,483	0,018	0,213	0,472	
FD	0,61 ^a	0,44 ^b	0,48 ^b	0,68	0,62	0,60	0,66 ^a	0,51 ^b	0,51 ^b	0,002	0,228	0,005	0,001	0,268	
FI	0,57 ^a	0,41 ^b	0,43 ^b	0,63	0,62	0,57	0,63 ^a	0,50 ^b	0,58 ^{ab}	0,007	0,540	0,017	0,001	0,028	
FS	0,69	0,68	0,65	0,93 ^a	0,63 ^b	0,69 ^b	0,83 ^a	0,60 ^b	0,64 ^b	0,006	0,625	0,016	0,418	0,355	

^{a,b}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente ($P < 0.05$). ⁽¹⁾T: Tratamiento; T0: Dieta control; T1: Dieta con alfalfa; T2: Dieta con achicoria. ⁽²⁾ Contrastes: C1= T0 vs. dietas con forrajes; C2= T2 vs. T3; MO: Materia Orgánica; FDN: Fibra Detergente Neutro; FD: Fibra Dietética; FI: Fibra insoluble; FS: Fibra soluble. Fases: F1 de 40 a 60 kg PV, F2 de 60 a 80 kg PV, F3 de 80 a 100 kg PV

En todas las fases evaluadas, la DAMO fue un 10% superior en T0 comparado a las dietas con forrajes, mientras que los coeficientes de DAMO fueron similares entre las dietas con forrajes. Por otra parte, hubo un incremento de la DAMO en la F2 comparando los coeficientes obtenidos en la F1 para todas las dietas. Sin embargo, no hubo diferencias en DAMO comparando los coeficientes de la F2 con los de la F3 para T0 ($P=0,534$) y T2 ($P=0,050$), pero si en T1, donde fue menor y diferente en F3 respecto al valor registrado en F2 ($P=0,001$) equiparando los valores registrados en la F1 ($P=0,306$). La DAFDN fue superior en la F1 ($P= 0,026$) y F2 ($P=0,049$) para T0 respecto a T2 y con valores intermedios para T1 en ambas fases, en cambio en la F3 no hubo diferencias entre tratamientos ($P=0,621$). Para la DAFD fue superior en la F1 ($P=0,001$) y F3 ($P=0,005$) para T0 respecto a las dietas con forrajes, mientras que en la F2 no hubo diferencias entre tratamientos ($P= 0,055$). Similar a estos resultados se observó para la DAFI, excepto en la F3, donde T0 fue superior solo respecto a T1 ($P=0,010$), siendo DAFI de T2 similar a T0 ($P=0,285$) y a T1 ($P=0,087$). Finalmente, la DAFS fue similar entre tratamientos en la F1 ($P=0,653$), con valores superiores para T0 respecto a las dietas con forrajes en F2 ($P=0,004$) y F3 ($P= 0,014$). Como resultado de la composición proteica de los forrajes y su nivel de inclusión en las dietas (Tabla IV), en T1 y T2 las concentraciones y el consumo de N fueron superiores para esas dietas, a excepción de la F1 donde se registró un consumo inferior de N en T1 respecto a T2 ($P=0,001$) diferente al consumo esperado que guardó relación con el menor CMO como ya fuera mencionado en párrafos anteriores.

Tabla IV. Efecto de la fuente y el nivel de fibra sobre la excreción y retención de Nitrógeno de las dietas ofrecidas a cerdos en tres fases de peso (Effect of the source and level of fiber on the excretion and retention of Nitrogen from the diets offered to pigs in three weight phases)

Fase (F)	F1 (12 días)			F2 (8 días)			F3 (7 días)			P valor				
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	Contrastes ⁽²⁾				
Tratamiento ⁽¹⁾	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	C1	C2	T	F	T x F
Nitrógeno														
Consumido, g/d	54,23 ^b	50,90 ^b	62,66 ^a	53,50 ^b	60,00 ^a	65,51 ^a	54,40 ^b	61,37 ^a	59,04 ^{ab}	0,011	0,036	0,011	0,118	0,042
Excretado en heces, g/d	11,43 ^b	14,67 ^b	19,78 ^a	9,10 ^b	14,23 ^a	16,04 ^a	10,03 ^c	16,40 ^b	21,96 ^a	0,001	0,014	0,002	0,006	0,129
Excretado en orina, g/d	13,43	12,60	15,89	12,77	15,40	16,65	14,00	14,10	13,00	0,453	0,525	0,595	0,314	0,192
Retenido, g/d	29,40 ^a	23,57 ^b	27,27 ^{ab}	31,63	30,33	31,59	30,37 ^a	30,83 ^a	23,55 ^b	0,067	0,597	0,152	0,058	0,135
VPNA	0,54 ^a	0,46 ^{ab}	0,43 ^b	0,59	0,51	0,50	0,56 ^a	0,50 ^{ab}	0,41 ^b	0,026	0,251	0,047	0,035	0,442

^{a,b}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente ($P < 0.05$). ⁽¹⁾ Tratamientos: T0: Dieta control; T1 Dieta con alfalfa; T2: dieta con Achicoria. ⁽²⁾ Contrastes: C1= T0 vs. dietas con forrajes; C2= T1 vs. T2 ; VPNA : Valor Proteico Neto Aparente. Fases: F1 de 40 a 60 kg PV, F2 de 60 a 80 kg PV, F3 de 80 a 100 kg PV

La excreción de N en heces guardó relación con el consumo de este, con registros superiores para las dietas con forrajes respecto a T0 ($P=0,001$), con excepción en la F1 para T1. Fueron similares los valores de excreción de N por la orina ($P=0,595$). La retención de N (RN) en la F1, fue diferente y superior para los animales que recibieron la dieta testigo (T0) con respecto a T1 ($P=0,041$), mientras que T2 fue similar a T0 ($P=0,439$) y a T1 ($P=0,185$). En la F2, no hubo diferencias entre tratamientos ($P=0,075$) y en la F3, T0 y T1 fueron similares entre sí ($P=0,862$) y diferentes a T2 ($P=0,019$). Un comportamiento similar se observó en el indicador de valor proteico neto aparente (VPNA) con registros superiores para T0 respecto a T2 en la F1 ($P=0,031$) y F3 ($P=0,006$), siendo los valores intermedios y similares para T1 ($P=0,099$ en F1; $P=0,241$ en F3). Fueron similares los tratamientos para esta variable en la F2 (Tabla IV).

Discusión

La implementación de sistemas de alimentación con inclusión de forrajes para productores de pequeña y mediana escala es una alternativa interesante si se logran metas productivas sustentables. La información disponible sobre este tema ha dejado de manifiesto que cuando los forrajes son ofrecidos a los animales en sistemas de alimentación donde el concentrado es restringido, ocasiona una reducción en la tasa de ganancia (Kambashi et al. 2014, Wallenbeck et al. 2014) posiblemente porque queda limitada la capacidad de consumo antes de que los animales cubran sus requerimientos. Este efecto puede ser una de las razones de su baja adopción como alternativa en la etapa crecimiento y engorde de cerdos. Sin embargo, en conocimiento de las diferencias que genera el nivel y tipo de fibra sobre el consumo (Black et al. 2009) y la digestibilidad de los nutrientes (Le Sciellour et al. 2018), se propone este experimento, buscando contribuir en el desarrollo de estrategias para optimizar el uso de los forrajes en la alimentación de cerdos durante el crecimiento y el engorde. Para ello fueron seleccionados dos forrajes con diferente composición de fibra y suministrados en niveles crecientes acompañando el crecimiento de los animales. El nivel, fuente y composición de la fibra dietética pueden ser considerados factores importantes que influyen en la digestibilidad alimenticia y en

la absorción de nutrientes. Las propiedades fisicoquímicas de la fibra y el nivel total de fibra dietética, puede proporcionar importante información sobre los posibles efectos en la fisiología digestiva de los cerdos (Knudsen 2001, Wenk 2001).

La alfalfa y la achicoria son forrajes que pueden utilizarse en las dietas de cerdos, pero a pesar de presentar contenidos de fibra dietética similares (539 g/kg MO), tienen diferentes composiciones químicas y características físicas que resultan de las diferencias en la composición de la fibra. La fibra dietética de la alfalfa es rica en fracciones de fibra insoluble y contienen un alto contenido de celulosa (Knudsen 1997), mientras que la fibra dietética de la achicoria tiene mayor proporción de fracciones de fibra soluble, con un alto contenido de carbohidratos fermentables. La alfalfa utilizada en este experimento presentó 90% de la fibra dietética como fibra insoluble. Por su parte, la achicoria presentó menor contenido de fibra insoluble, 74% en promedio, asociado a una alta proporción de pectinas en la pared celular de sus hojas (fracción soluble) constituidas por homogalacturanos y ramnogalacturanos-I (Sun et al. 2006, Ivarsson 2012). La fibra insoluble compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, acelerando el tránsito intestinal debido a que son pocos fermentables y resisten a la acción de los microorganismos intestinales (Jorgensen et al. 2007). Por el contrario, la fibra soluble en contacto con el agua se disuelve formando un retículo de gran viscosidad (gel), lo cual ocasiona un mayor tiempo de retención en el tracto gastrointestinal (TGI) y favorece la fermentación por los microorganismos intestinales (Knudsen 2001).—En general, la fibra presente en la dieta va a disminuir la concentración energética de la misma, ya que la energía procedente de la fermentación en el intestino grueso se emplea con menor eficiencia de aquella obtenida de la digestión enzimática de la dieta en intestino delgado (Noblet et al. 1994). En consecuencia, se registra un aumento en el consumo de materia seca a fin de incrementar la ingestión de energía (Black et al., 2009). En este trabajo las relaciones entre consumo de MO y de fibra como FDN o FI, arrojan una alta asociación (Figura 1 y 2). Sin embargo, la asociación entre consumo de MO y consumo de FDN es mayor en comparación a la relación entre consumo de MO y consumo de FI, de acuerdo con el modelo de regresión empleado.

Figura 1. Consumo de Fibra Detergente Neutro (FDN, g/d) de dietas con forrajes de alfalfa y achicoria (Neutral Detergent Fiber intake (NDF, g/d) of diets with alfalfa and chicory forages)

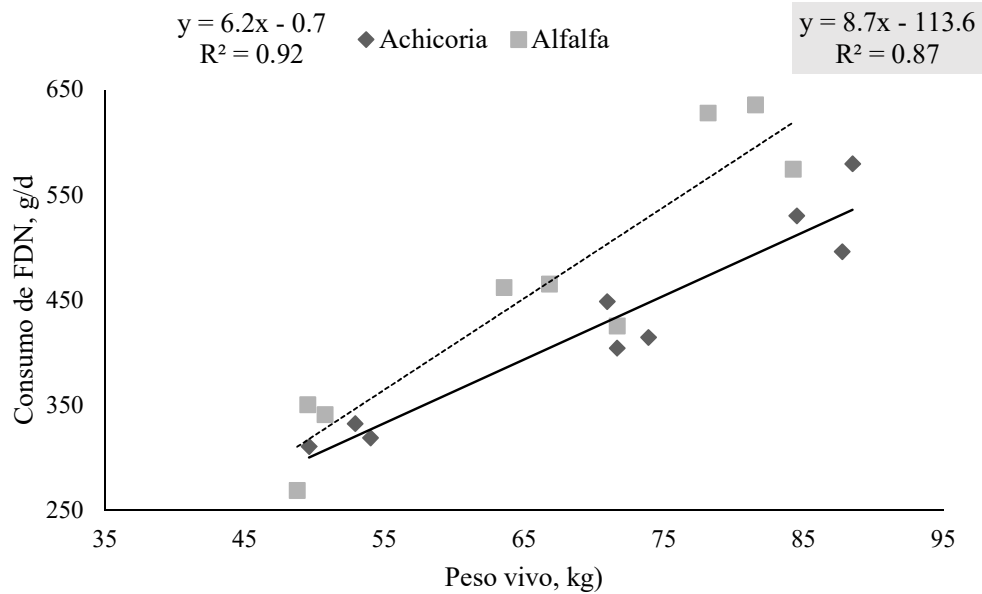
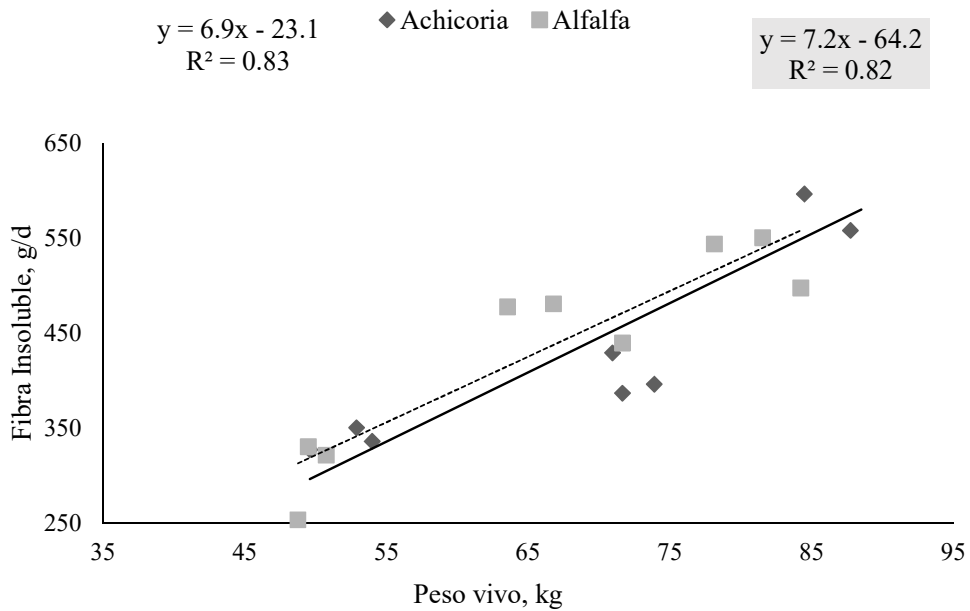


Figura 2. Consumo de Fibra Insoluble (g/d) de dietas con forrajes de alfalfa y achicoria (Insoluble Fiber intake (g/d) of diets with alfalfa and chicory forages)



Estas relaciones estarían indicando una cierta capacidad de carga en FI o FDN en el TGI, que varía con el peso vivo de los cerdos en crecimiento. En el caso de la dieta con alfalfa, habría un incremento de 87 g FDN consumido cada 10 kg aumento del PV, mientras que, en el caso de la dieta con achicoria, el aumento sería de 62 g de FDN cada 10 kg de aumento de PV. Estas respuestas han sido puestas en evidencia por varios autores (Black et al. 2009, Le Goff & Noblet 2001). Este resultado sugiere que los animales que recibieron las dietas con forrajes consumieron hasta alcanzar su máxima capacidad, quedando limitada por la cantidad de fibra insoluble (fibra como FDN o FI) presente en la dieta. Posiblemente en la medida que crecieron los animales y recibieron las dietas fibrosas, fueron desarrollando el TGI permitiendo así un mayor consumo. La adaptación de los cerdos al consumo de forraje permite un mayor desarrollado el ciego y colon, lo que les permite consumir mayor cantidad y aprovechar mejor el forraje que los animales no habituados. Los cerdos que consumen forraje presentan un intestino grueso de mayor tamaño, consecuencia del mayor volumen del material almacenado en el mismo. Esta adaptación digestiva fue reportada por González et al. (2020), en estos mismos animales. Según estos autores, los cerdos que recibieron dietas con inclusión de forraje presentaron mayor peso de estómago e intestino en comparación a los cerdos que recibieron la dieta testigo, y un mayor peso del colon para los animales que recibieron la dieta con mayor contenido de fibra soluble (dieta con achicoria). En cuanto a la digestibilidad de la MO, esta estuvo más relacionada a la digestibilidad de la Fibra Dietética, en particular a la fracción Fibra Insoluble. La reducción significativa de la digestibilidad de la materia orgánica y los nutrientes causada por el incremento de fibra dietética ha sido mencionado por numerosos autores (Wilfart et al. 2007; Zhao et al. 2018, Chen et al. 2020), debido a la menor digestibilidad de la fibra insoluble por la presencia del complejo lignocelulósico y porque incrementa las pérdidas de nutrientes endógenos y acelera la tasa de pasaje (Souffrant 2001). Los trabajos indican una disminución lineal de la digestibilidad de los nutrientes ante un incremento en el contenido de FDN en la dieta ofrecida a cerdos sin embargo también se enuncia que para un mismo nivel de fibra el valor de digestibilidad será mayor a mayor tamaño de los animales (Le Goff & Noblet 2001, Zhao et al. 2020). En este experimento no fue

observado el efecto depresor de la digestibilidad a mayor contenido de fibra en la dieta. Como ya se mencionó, en este experimento, el nivel de fibra se incrementó en la medida que el peso vivo de los animales también incrementaba y por ende fue mayor el desarrollo del TGI (adaptación de flora a la fuente fibrosa y mejor aprovechamiento de la capacidad de fermentación de la fibra) (Le Sciellour et al. 2018, Kil et al. 2013). Sin embargo, hubo una reducción significativa de la DAMO de las dietas con inclusión de forraje con respecto a la dieta testigo en todas las fases de crecimiento de los cerdos, como consecuencia de la sustitución del maíz principalmente, cereal que se caracteriza por su elevado contenido de almidón (69%), carbohidrato de alta digestibilidad (Knudsen 1997, Ratanpaul et al. 2019). Los coeficientes de digestibilidad fueron mayores para la fracción FS en comparación a la digestibilidad de FI o FDN. Generalmente, la FS fermenta rápido y completamente en el intestino (Urriola et al. 2012). El aumento del nivel de fibra en las dietas con forraje resultó en un aumento en la excreción de N fecal (más del 50% del N excretado total), mientras que no hubo efecto sobre la excreción N urinario y la retención aparente de N. esto sugiere que la utilización de N no se vio afectada por el aumento en el nivel de fibra dietética en este estudio, a pesar de una reducción en la digestibilidad fecal aparente de la PC y en el VPNA en las dietas con inclusión de forraje en comparación a la dieta testigo ($p=0.026$). El aumento en la excreción fecal de N se asocia probablemente con una mayor producción de proteína bacteriana (Blank et al. 2012) debido a la fermentación de los componentes de la fibra dietética en el ciego (Knudsen et al. 1991). Este efecto fue más notorio en F3 por lo cual, según lo reportado por Urriola et al. (2012) y Jha and Berrascoso (2015), es posible que haya habido una captación de N incrementando la disponibilidad en intestino grueso para el crecimiento microbiano (N orgánico). De esta forma se excretaría una menor proporción de N urinario (N inorgánico) al ambiente, que es el principal precursor de la volatilización del amoníaco (Canh et al. 1998, Beccaccia et al. 2015).

Conclusión

La inclusión de forraje en sustitución de maíz y harina de soja incrementó el nivel de fibra, con mayores concentraciones de fibra soluble para las dietas que contenían

achicoria en su formulación. Probablemente la fibra insoluble afectó el nivel del consumo en animales entre 40 y 60 kilos mientras que forrajes con alto contenido de fibra soluble no deprimieron el consumo y por tanto no afectaron el crecimiento para esa etapa de peso. El incremento progresivo de forraje, acompañando el crecimiento del animal, permitió realizar sustituciones de hasta el 30% de maíz y harina de soja por forraje de achicoria sin afectar el peso de los animales. La determinación de la fibra en sus componentes soluble e insoluble ofreció información más precisa y puede ser más orientadora para la toma de decisiones del nivel de inclusión y ajuste nutricional de la dieta. Los datos obtenidos apoyan la afirmación de que puede ser económicamente factible para los criadores de cerdos de pequeña escala utilizar ingredientes alimenticios ricos en fibra disponible y de bajo costo. Se necesita más conocimiento sobre el impacto del nivel de fibra y las propiedades de la fibra en la excreción de nitrógeno y fósforo y las emisiones de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y gases de efecto invernadero del estiércol de cerdo.

Bibliografía/Bibliography

- AOAC 2012 Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th (Ed) AOAC International, William Horwitz, George W. Latimer, Gaithersburg, Maryland, USA, Official Method.
- Black, JL, Williams, BA, Gidley, MJ 2009, Metabolic regulation of feed intake in monogastric mammals, Chapter 8, In: Voluntary feed Intake in pigs, ed. David Torrallardona & Eugeni Roura, pp. 191-213.
- Blank, B, Schlecht, E & Susenbeth, A 2012, 'Effect of dietary fibre on nitrogen retention and fibre associated threonine losses in growing pigs', *Archives of Animal Nutrition*, vol. 66, no. 2, pp, 86-101, <http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2012.663669>.
- Beccaccia, A, Cerisuelo, A, Calvet, S, Ferrer, P, Estellés, F, De Blas, C, García-Rebollar, P 2015, 'Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs: II. Effect of protein source in practical

- diets', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 209, pp. 137-144, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.021>.
- Canh, TT, Aarnink, AJA, Schutte, JB, Sutton, A, Langhout, DJ & Verstegen, MW 1998. 'Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs'. *Livestock Production Science*, vol. 56, no. 13, pp. 181-191, [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00156-0).
- Chen, T, Chen, D, Tian, G, Zheng, P, Mao, X, Yu, J, He, J, Huang, Z, Luo, Y, Luo, J & Yu, B 2020, 'Effects of soluble and insoluble dietary fiber supplementation on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbe and barrier function in weaning piglet', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 260 no. 2020 pp. 114335, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114335>.
- Chen, T, Chen, D, Tian, G, Zheng, P, Mao, X, Yu, J, He, J, Huang, Z, Luo, Y, Luo, J & Yu, B 2020, 'Effects of soluble and insoluble dietary fiber supplementation on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbe and barrier function in weaning piglet', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 260 no. 2020 pp. 114335, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114335>.
- González, A, Figueroa, V, Batista, C, Casal, A, Álvarez, A, Saadoun A & Astigarraga, L 2020, 'Inclusión de forrajes con distinta relación de fibra soluble e insoluble en la dieta de cerdos', *Archivos de Zootecnia*, vol. 69, no. 268, pp. 424-431, <https://doi.org/10.21071/az.v69i268.5390>.
- Grieshop, CM, Reese, DE & Fahey, Jr, GC 2001, 'Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition', In: *Swine Nutrition*. Lewis, A. J., Southern, L. L., Eds. CRC Press: Boca Raton, FL, 2001; pp 107-130.
- Ivarsson, E, Liu, HY, Dicksved, J, Roos, S & Lindberg, JE 2012, 'Impact of chicory inclusion in a cereal-based diet on digestibility, organ size and faecal microbiota in growing pigs', *Animal*, vol. 6, no. 7, pp.1077-85, <https://doi.org/10.1017/S1751731111002709>.
- Jha, R & Berrocoso, JD 2015, 'Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine', *Animal*, vol. 9, no. 9, C, pp. 1441–52, <https://doi.org/10.1017/S1751731115000919>.

- Jorgensen, H, Serena, A, Hedemann, MS & Knudsen KEB 2007, 'The fermentative capacity of growing pigs and adult sows fed diets with contrasting type and level of dietary fibre', *Livestock Science*, vol. 109, pp. 111–14, doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.102.
- Kambashi, B, Picron, P, Boudry, C, Théwis, A, Kiatokoa, H & Bindelle, J 2014; 'Nutritive value of tropical forage plants fed to pigs in the Western provinces of the Democratic Republic of the Congo', *Animal Feed Science and Technology*, vol.191, pp. 47-56, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.012>.
- Kil DY, Kim, BG & Stein HH 2013, 'Invited Review: Feed Energy Evaluation for Growing Pigs', *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, vol. 29, no. 9, pp. 1205-17, <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.r.02>
- Knudsen KEB 2015 'Microbial Degradation of Whole-Grain Complex Carbohydrates and Impact on Short-Chain Fatty Acids and Health', *American Society for Nutrition, Adv. Nutr.* vol. 6, pp. 206–13, doi:10.3945/an.114.007450.
- Knudsen, KEB 2001, 'The nutritional significance of “dietary fibre” analysis', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no. 1, pp. 3–20. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00193-6.
- Knudsen, KEB 1997, 'Carbohydrate and lignin. Contents of plant materials used in animal feeding', *Animal Feed Science Technology*, vol. 67, pp. 319-38.
- Le Goff, G & Noblet, J 2001, Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows, *Journal of Animal Science*, vol. 79, no. 9, pp. 2418–27, <https://doi.org/10.2527/2001.7992418x>.
- Le Sciellour M, Labussière, E, Zemb, O, Renaudeau, D 2018, 'Effect of dietary fiber content on nutrient digestibility and fecal microbiota composition in growing-finishing pigs', *PLoS ONE*, vol.13, no.10, DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206159>.
- Noblet, J, Shi, XS & Dubois, S 1994, 'Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs', *Journal Animal Science*, vol. 72, no. 2, pp. 344–54.

- NRC, National Research Council 2012, *Nutrient requirements of swine*: Eleventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>.
- Pietrosemoli, S & Tang, C 2020, Animal Welfare and Production Challenges Associated with Pasture Pig Systems: A Review, *Agriculture* vol. 10, no. 223, pp.1-34, <https://doi.org/10.3390/agriculture10060223>.
- Pu, G, Li, P, Du1, T, Niu, Q, Fan, L, Wang, H, Liu, H, Li, K, Niu, P, Wu, C, Zhou, W & Huang, R 2020, 'Adding Appropriate Fiber in Diet Increases Diversity and Metabolic Capacity of Distal Gut Microbiota Without Altering Fiber Digestibility and Growth Rate of Finishing Pig', *Frontiers of Microbiology*, vol.11, no. 533, pp.1-15, doi: 10.3389/fmicb.2020.00533.
- Ratanpaul, V, Williams, BA, Black, JL & Gidley, MJ 2019, 'Effects of fibre, grain starch digestion rate and the ileal brake on voluntary feed intake in pigs: Review', *Animal*, vol. 13, no. 11, pp 2745–54, doi:10.1017/S1751731119001459.
- Souffrant, WB 2001, 'Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no. 1–2, pp. 93-102, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00199-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00199-7).
- Sorensen, JT & Schrader, L 2019, 'Labelling as a Tool for Improving Animal Welfare—The Pig Case', Review, *Agriculture*, vol. 9, no. 123, pp. 1-13, doi: 10.3390/agriculture9060123.
- Sun, X, Andrew, IG, Joblin, KN, Harris, PJ, McDonald, A & Hoskin SO 2006, 'Polysaccharide compositions of leaf cell walls of forage chicory (*Cichorium intybus* L.)', *Plant Science*, vol. 170, pp. 18–27.
- Urriola, PE, Cervantes-Pahm, SK & Stein, HH 2012, 'Fiber in swine nutrition', in *Sustainable Swine Nutrition* editado por Lee I. Chiba, cap. 11, pp. 255-76.
- Urriola, PE, Shurson, GC & Stein, HH 2010, 'Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs', *Journals of Animal Science*, vol.88, no.7, pp. 2373-81, doi:10.2527/jas.2009-2227.
- Van Soest, PJ, Robertson, JB & Lewis BA 1991, Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal

- Nutrition, *Journal Dairy Science* vol. 74, no.10, pp. 3583-97.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Wallenbeck, A, Rundgren, M & Presto M 2014 'Inclusion of grass/clover silage in diets to growing/finishing pigs –Influence on performance and carcass quality', *Acta Agriculturae Scand*, Section A, vol. 64, no. 3, pp. 145–53, <http://dx.doi.org/10.1080/09064702.2015.1006668>.
- Wang, LF, Beltranena, E & Zijlstra, RT 2016, 'Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed sugar beet pulp', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 211, no. pp. 145-52, <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.005>.
- Wenk, C 2001, 'The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no. 1, pp. 21–33. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00194-8.
- Wilfart, A, Montagne, L, Simmins, PH, van Milgen, J & Noblet, J 2007, Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber, *Journal of Animal Science*, vol. 85, no. 4, pp. 976–83, <https://doi.org/10.2527/jas.2006-431>.
- Zhao, J, Liu, X, Zhang, Y, Liu, L, Wang, J & Zhang, S 2020, 'Effects of body weight and fiber sources on fiber digestibility and short chain fatty acid concentration in growing pigs', *Asian-Australas J Anim Sci*, vol. 33, no. 12, pp. 1975-84, <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0713>.
- Zhao, J, Liu, P, Wu, Y, Guo, P, Liu, L, Ma, N, Levesque, C, Chen, Y, Zhao, J, Zhang, J & Ma, X 2018, 'Dietary fiber increases the butyrate-producing bacteria and improves growth performance of weaned piglets', *Journal of Agricultural Food Chemistry*, vol. 66, no. 30, pp.7995-8004, 10.1021/acs.jafc.8b0254566, 30, 7995–8004.
- Zijlstra, RT, Jha, R, Woodward, AD, Fohse JT & van Kempen ATG 2012, 'Starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs', *Journal of Animal Science* vol. 90, no. 4, pp. 49-58. http://www.journalofanimalscience.org/content/90/Supplement_4/49.

5. DISCUSIÓN GENERAL

El uso de alimentos alternativos en las dietas de los cerdos es una línea de investigación que ha tenido gran desarrollo en los últimos años (Babatunde et al., 2021). Los forrajes son uno de los ingredientes utilizados como alternativa, cuyo uso pretende reducir costos en la alimentación y de manera adicional, obtener los beneficios que otorga la fibra al bienestar (Guillon et al., 2011) y a la salud de los animales (Lindberg, 2014). Sin embargo, las dietas ricas en fibra se han asociado con una reducción en la utilización de nutrientes y en el rendimiento de los cerdos aunque los resultados son variables según el tipo y el nivel de inclusión en la dieta.

En este trabajo se planteó como hipótesis que, si los forrajes son incorporados progresivamente en la dieta de los cerdos, acompañando el desarrollo del tracto gastrointestinal de los animales, se podrían alcanzar niveles de inclusión de hasta el 30 % sin afectar negativamente los indicadores productivos comparados con los de los cerdos alimentados con dietas convencionales. Asimismo, para un mismo nivel de inclusión de forraje, la respuesta productiva se verá favorecida por la mayor relación de FS/FI presente en la composición de la fibra dietética del forraje.

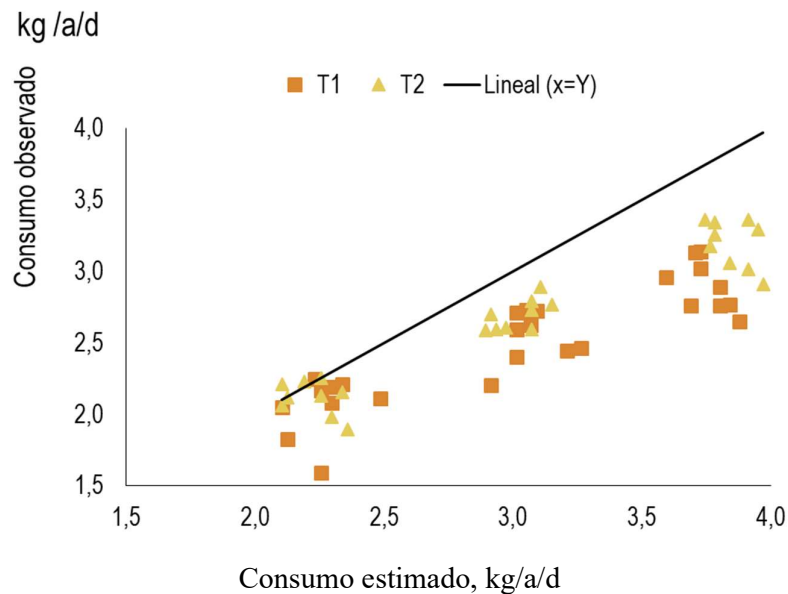
5.1. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL CONSUMO

La selección de los forrajes para el diseño del experimento se basó en la información bibliográfica de composición de la fibra reportada por Knudsen (1993) para la alfalfa y por Ivarsson (2012) para la achicoria. Para ambos forrajes, los valores resultantes de los análisis fueron similares en la concentración de FDN, FDA, lignina y FD (g/kg de MO), pero difirieron en la relación FS/FI (publicación 1, tabla II), de acuerdo con lo esperado para los objetivos de este experimento. Las dietas con inclusión de forrajes, presentaron menores concentraciones de EM en relación a T0 y esta fue decreciendo a mayor nivel de inclusión del forraje (publicación 1, tabla I). En consecuencia, fue necesario suministrar una cantidad diaria superior de alimento a los animales asignados a T1 y T2 para compensar este efecto dilución y alcanzar un suministro diario de EM similar a T0 (Black et al., 2009, Beaulieu et al., 2009). La cantidad diaria de alimento a ofrecer (kg/a/d) fue calculada considerando los

requerimientos energéticos para el mantenimiento y la deposición de proteína y grasa en función de una ganancia esperada según información nacional proporcionada por la Encuesta Porcina (MGAP, 2006).

El consumo medido en T1 y T2, fue menor al valor calculado por la ecuación de consumo voluntario ($CMV = 0,111 \times PV^{0,803}$) (Black et al., 1986) para todas las fases, con registros del orden del 5 % de rechazo en cada fase para T1 y T2. Es probable que las concentraciones de FD entre 18 y 23 % de las dietas, haya sido la causa de que factores físicos relacionados con el llenado intestinal (distensión) se activaran. Para dietas con elevada concentración de FD, como las utilizadas en este experimento, además del PV, parecería necesario incorporar la información de algún parámetro adicional para ajustar la ecuación de estimación del consumo voluntario. En este experimento, la capacidad máxima quedó expresada cuando el consumo de FD representó el 0,76 % PV (equivalente a 6 % $PV^{0,60}$) (Figura 6).

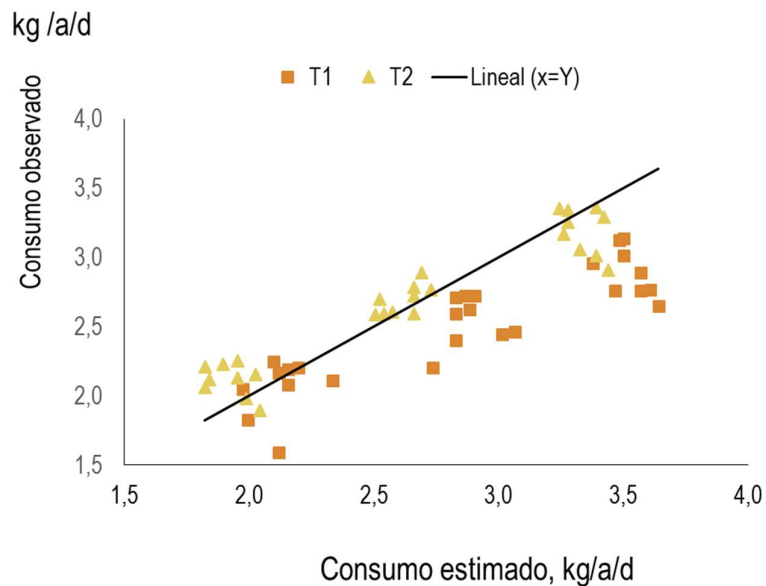
Figura 6. Relación entre consumo estimado y consumo observado de alimento



Tsaras et al. (1998) consideran que, si las dietas contienen alimentos fibrosos, el cálculo de la capacidad de consumo voluntario debe considerar la capacidad de retención de agua (CRA) de la dieta y proponen la siguiente ecuación: $CMV (kg/d) =$

$0,2346 (1/C_w) PV^{0,803}$, en donde C_w es la capacidad de retención de agua de la dieta. Siguiendo esta propuesta, si estimamos el CMV utilizando el parámetro C_w en las dietas con forrajes (anexo 2), se observa que el consumo de los animales asignados al T2 fue similar al estimado (Figura 7).

Figura 7. Consumo estimado utilizando ecuación de Tsaras (kg/a/d) y consumo observado para las dietas con forraje



Estos resultados sugieren que la ecuación propuesta de Tsaras et al. (1998) brinda información más cercana al consumo real de los animales para dietas con mayor contenido de FS (T2); sin embargo, el ajuste para T1 es más bajo.

Estos resultados se lograron luego de un periodo de adaptación progresiva a la inclusión de forraje. Los animales asignados a las dietas T1 y T2 iniciaron el período de adaptación, con un 5 % de forraje en la dieta hasta los 40 kg PV y, posteriormente, recibieron dietas con incrementos graduales del 10, 20 y 30 % de forraje. El nivel de inclusión se fue ajustando al peso de los animales (fase 1 $42 \pm 2,3$; fase 2 $62 \pm 2,4$ y fase 3 $83 \pm 2,8$ kg). Cada fase duró 21 ± 4 días, tiempo adecuado para la adaptación a la fase siguiente de inclusión. Kyriazakis y Emmans (1995) mencionan dos semanas como el tiempo necesario para el desarrollo del TGI asociado al suministro de dietas fibrosas. Es probable que la duración media de cada fase durante el experimento

haya contribuido a modificar el comportamiento ingestivo y, así, aumentar el CMV mediante cambios adaptativos en el tracto gastrointestinal (Jin et al., 1994).

Los cerdos alimentados con las dietas T1 y T2 presentaron un peso mayor (como % del PV) de estómago, de intestino delgado y para T2 también de colon (publicación 1, tabla V) en acuerdo con lo reportado por varios autores para dietas con inclusión de alimentos fibrosos (Kass et al., 1980, Stanogias et al., 1985, Anugwa et al., 1989, Pond et al., 1989).

5.2. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD APARENTE

Un mayor consumo de fibra redujo la digestibilidad aparente (D) de la MO con respecto a T0 (publicación 2, tabla III) para todos los niveles de inclusión y fase de crecimiento. Como resultado de los consumos y digestibilidades, se observan diferencias en el consumo de MO digestible entre las dietas con forrajes, siendo mayor en T2 con respecto a T1 (cuadro 5). Estos resultados permiten sugerir un aporte diferente de energía digestible con mayor disponible para animales que recibieron las dietas con inclusión de achicoria respecto a las dietas con inclusión de alfalfa.

Cuadro 5. Digestibilidad de la MO y consumo de materia orgánica digestible (kg/a/d) para cada dieta y fase

	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
DMO	0,85 ^a	0,77 ^b	0,77 ^b	0,89 ^a	0,82 ^b	0,81 ^b	0,89 ^a	0,78 ^b	0,79 ^b
CMOD	1,68	1,58	1,63	2,18	2,14	2,18	2,41 ^b	2,29 ^b	2,52 ^a

T0: dieta testigo; T1 dieta con alfalfa; T2: dieta con achicoria; fases: F1 de 40 a 60 kg, F2 de 60 a 80 kg, F3 de 80 a 100 kg; CMO: consumo materia orgánica; DMO: digestibilidad MO; CMOD: consumo materia orgánica digestible. Valores con letras diferentes dentro de cada fase, difieren significativamente al 5%.

Del mismo modo, en éste trabajo se alcanzaron valores promedios de 50% de digestibilidad de la fibra (como FD, FI, FS o FDN) aunque la DFI presentó una

interacción significativa entre fase x dieta ($P=0,028$). Los valores DFI mayores en la fase 2 con respecto a la fase 1 y la fase 3, podría responder al mayor desarrollo de TGI al aumentar el peso vivo, favoreciendo la fermentación de esta fracción.

Si bien el proceso de digestión de la fibra inicia en el intestino delgado (Knudsen y Jørgensen, 2001), el sitio principal de degradación microbiana es el intestino grueso, donde se han cuantificado valores promedio de 0,40 a 0,50 para animales de 60 kg de PV (Noblet y Le Goff, 2001). Por tanto, los valores obtenidos de digestibilidad de 50% para la fibra en este trabajo se aproximan a los valores promedios. Se ha señalado que el aumento del contenido de FI en la dieta se asocia con el incremento en la tasa de pasaje de la digesta (Knudsen 2001) y ese efecto podría ser el responsable del menor tiempo disponible para la degradación de la fibra por la flora microbiana (Navarro et al., 2018, Urriola et al., 2013) generando menores valores de digestibilidad.

Por otra parte, los valores de digestibilidad de la FS (65% en promedio) fueron superiores a los valores de digestibilidad de la FI (publicación 2, tabla III), lo que indica que la FS es más fácilmente degradable (tanto por fermentabilidad como por mayor tiempo de retención en intestino). De acuerdo a estos resultados, es posible esperar que los alimentos con contenidos similares de FT realicen un aporte diferencial de energía vinculado a su grado de fermentabilidad asociado a la relación FS/FI.

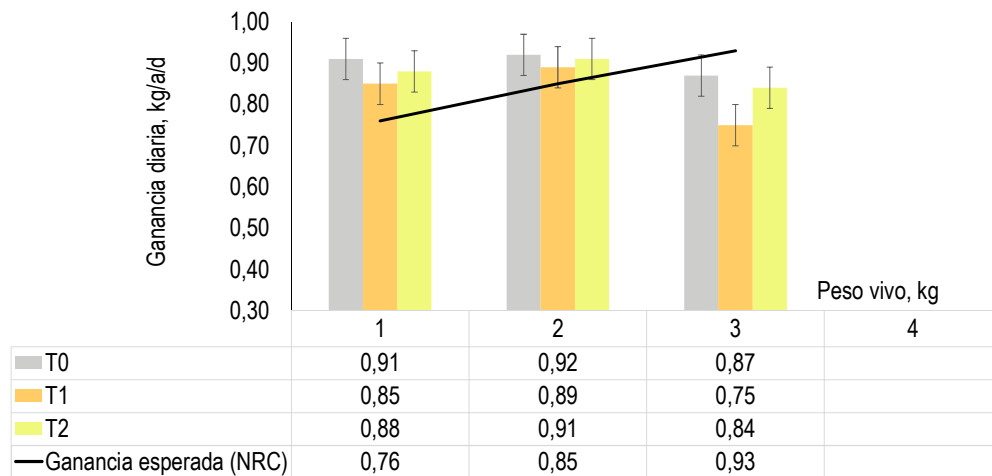
Finalmente, se constató que el incremento de los niveles de forraje no deprimió el coeficiente de digestibilidad de los diferentes componentes de la fibra, de lo que surge que la inclusión gradual del forraje y la duración de cada fase actuó favoreciendo la utilización digestiva.

5.3.EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE LOS ANIMALES

Las ganancias diarias (GD) de los animales fueron similares entre dietas para todas las fases (publicación 1, tabla III). En la figura 8 se presenta la relación entre GD esperadas y observadas en cada fase y para cada dieta.

Como se observa en la figura, las GD medias fueron mayores en fase 1, similares a lo esperado en fase 2 y menores a lo esperado en fase 3. La estimación de la GD fue realizada según el sistema NRC (2012) y en base a valores de tablas de composición química de alimentos para cerdos (NRC 2012, INRA, 1985). Las diferencias entre GD puede deberse a diferentes factores. Un factor que puede contribuir a explicar las menores GD en F3 tiene que ver con la oferta de nutrientes, considerando que el cálculo de la energía metabolizable (EM) de las dietas fue estimado a partir de las concentraciones de EM de los forrajes (1,69 Mcal/kg para alfalfa deshidratada, NRC 2012; 1,20 Mcal /kg para achicoria deshidratada, INRA 1985) tomando valores constantes para todo el periodo de evaluación.

Figura 8. Ganancia diaria esperada y ganancia observada de los animales para los diferentes tratamientos



Asimismo, al trabajar con valores de EM, no se consideraron posibles diferencias en las eficiencias de utilización (k), ocasionadas por la composición química de las dietas. Ha sido comprobado que la eficiencia de utilización de la energía obtenida a partir de la fermentación de la fibra en el intestino grueso es menor que la que se obtiene en el intestino delgado a partir del proceso de digestión enzimática y absorción de los azúcares (Jorgensen et al., 1996, Noblet, 2007, 2015).

La eficiencia de utilización de la EM del alimento para el mantenimiento (*km*), también puede variar. Se asigna un valor medio (Emmans, 1994) sin considerar las posibles diferencias generadas como consecuencia de la alimentación fibrosa, diferencias generadas por los componentes del mantenimiento (cambios en el tamaño del TGI, en la producción de calor por fermentación y en la actividad mínima). Black (2000) estableció la existencia de una alta correlación entre el calor producido y el peso total del TGI y del hígado. Anuwa et al. (1989) observaron correlaciones positivas ($r > 0,98$) entre la producción de calor en ayunas de los cerdos y el peso del estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. Como ya se analizó en la publicación 1 (tabla V), el peso del estómago, intestino delgado y colon (éste último para la dieta T2) fue superior en los animales alimentados con las dietas que incluyeron forraje respecto al testigo. Se entiende que los cambios en el tamaño y el peso del TGI se deben a la mayor cantidad de trabajo realizado por estos órganos para mezclar, dar forma mover y expulsar grandes cantidades de residuos del alimento no digerido.

Por lo tanto, en la determinación de las necesidades para el metabolismo basal o producción del calor en ayunas para cerdos en crecimiento ($EM_{mb} = 197 \times PV^{0,60}$), sería necesario considerar las diferentes tasas metabólicas basales generadas por la concentración de fibra en la dieta. De este modo, las necesidades para el mantenimiento pasan a ser dependientes del plano nutricional (Nyachoti et al., 2000).

Si estimamos la cantidad de EM destinada al mantenimiento de los animales, utilizando la información de la EM consumida y las ganancias diarias de los animales, se observa para éste estudio una diferencia significativa en los valores de EM_m (cuadro 6). Este resultado está en consonancia con las menores ganancias observadas en T1 respecto a T2. Asimismo un mayor disponible de EM en T2, sería consecuencia de la mayor proporción de FS altamente fermentable.

Cuadro 6. Energía Metabolizable consumida para las funciones de ganancia diaria y mantenimiento de los animales

Consumo	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
EM	7,19 ^a	6,51 ^b	6,99 ^a	8,06 ^a	7,51 ^b	7,40 ^b	9,56 ^b	9,60 ^b	10,15 ^a
EMc	3,94	3,97	3,74	4,69	4,58	4,18	5,43 ^a	4,11 ^b	4,47 ^{ab}
EMm	3,25	2,94	3,24	3,38	2,93	3,22	4,95 ^b	6,01 ^a	5,68 ^{ab}

T0: dieta testigo; T1 dieta con alfalfa; T2: dieta con achicoria; fases: F1 de 40 a 60 kg, F2 de 60 a 80 kg, F3 de 80 a 100 kg; EM: Energía Metabolizable; EMc: Energía Metabolizable de crecimiento; EMm: Energía Metabolizable de mantenimiento. Valores con letras diferentes dentro de cada fase, difieren significativamente al 5%.

Por otra parte, ha quedado demostrado que cerdos en crecimiento alimentados con dietas de elevado contenido en fibras de rápida fermentación presentan menor actividad y, por ende, se reduce el gasto energético para esta función (Schrama et al., 1996, Schrama y Bakker, 1999). En este trabajo, los requerimientos de EM para actividad se calcularon incrementando un valor fijo (5 % de la EMmb) para todos los tratamientos (NRC, 2012), por lo cual no fueron contempladas las posibles diferencias como consecuencia de las dietas utilizadas, aspecto a tener en cuenta en futuras investigaciones.

5.4. EFECTO DE LA CANTIDAD Y DE LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA SOBRE EL BALANCE DE NITRÓGENO

Las dietas evaluadas fueron formuladas para ser similares en el contenido de lisina expresada como digestible *ileal* aparente, extrapolando información reportada en la bibliográfica de este aminoácido para los forrajes y corrigiendo por la concentración de PC (NRC, 2012, INRA, 1984). En función de lo anterior, las dietas con inclusión de forrajes, presentaron mayor cantidad de PC. Esta característica, unida al mayor consumo registrado para las dietas con forraje, estaría explicando las diferencias significativas en el consumo de N con respecto al T0.

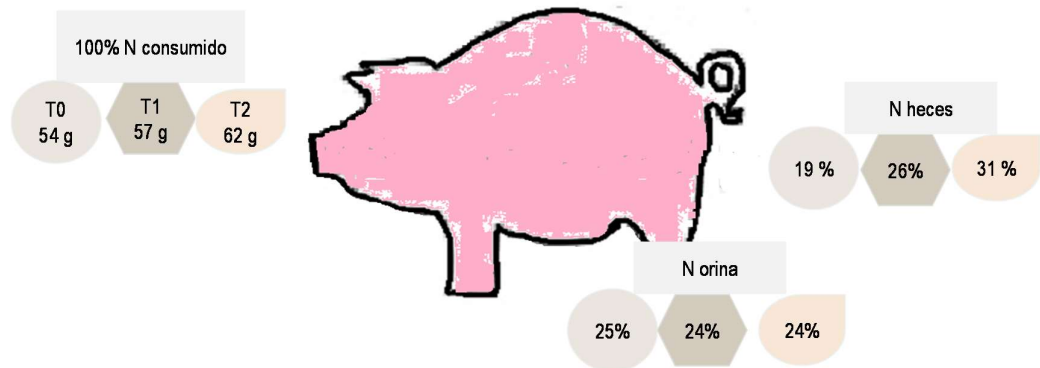
Las dietas con inclusión de forrajes presentaron mayor cantidad de heces con menor contenido de MS (anexo 4). La cantidad de heces está altamente relacionada al consumo de FD, en particular con FS ($R= 0,84$) con una relación de 4,2 g de heces (MS) por cada g de FS consumida. Una mayor ingesta de FS influye en el hábito intestinal, no solo por la estimulación del crecimiento microbiano, sino también por la acción mecánica y las propiedades de retención de agua (Knudsen, 2001).

La ingestión de FD está asociada con un aumento de las pérdidas de nitrógeno en las heces (publicación 2, tabla IV) y a una disminución de la digestibilidad aparente del N en todo el TGI (Nyachoti et al, 1997, Souffrant, 2001). La mayor cantidad de N en heces de los cerdos alimentados con dietas fibrosas está vinculada a una mayor producción de proteína bacteriana asociada a la fermentación de los componentes de la fibra en el ciego (Jha y Berrascoso, 2015, Urriola et al., 2013, Knudsen et al., 1991). Los investigadores han constatado que el nitrógeno de la proteína dietética puede incorporarse a la proteína bacteriana (Bakker et al., 1998). En este sentido, es posible que la presencia de una mayor concentración de carbohidratos de rápida fermentación, como en las dietas con achicoria (T2), haya favorecido el crecimiento microbiano con la consecuente mayor captación de N en intestino grueso (Souffrant, 2001). Un aspecto interesante que destaca Drochner (1984), es que la capacidad del intestino grueso de los cerdos para fermentar la FD es considerable si se suministra suficiente nitrógeno a la microflora intestinal. Este concepto es ampliamente conocido en la utilización ruminal de la fibra por los rumiantes, donde las relaciones entre C/N son una variable relevante de la degradabilidad ruminal de la fibra (Hoover y Stokes, 1991). Puede llamar la atención que a pesar de la mayor excreción de N en las dietas T1 y T2, con respecto a T0, si se expresan los valores de N en heces en relación a la cantidad de MS en heces, los valores son relativamente similares (33,1; 31,7; 31,8 g N/kg MS heces para T0, T1 y T2 respectivamente)

Otra consecuencia del crecimiento de la masa bacteriana en el intestino posterior es una modificación parcial de la ruta de excreción de N hacia una mayor proporción de N como proteína en las heces y menos N como urea en la orina (Chebeauti et al., 1991). En éste trabajo, se observó que el aumento en el nivel de FD

redujo la digestibilidad fecal aparente de la PC en comparación con la dieta testigo ($p = 0,026$), pero no fue diferente la excreción de N urinario entre las dietas. Bakker et al. (1996) y Canh et al. (1998) constataron una disminución de los valores de nitrógeno urinario cuando se incrementa el contenido de polisacáridos no amiláceos en la dieta, por lo que señalan la ocurrencia de una reorientación del N hacia las pérdidas fecales. Estos cambios de destino en la excreción podrían considerarse una medida de atenuación del impacto ambiental del N urinario que es altamente reactivo en el ambiente (pérdidas como NH_3 , N_2O) (Canh et al., 1998, Beccaccia et al., 2015). Como resultado de las entradas y salidas de N, la retención promedio en el período experimental (figura 9) presentó una tendencia a ser menor ($P = 0,067$) para las dietas con inclusión de forrajes respecto a T0. De hecho, esta tendencia no se manifestó en el crecimiento de los animales, con ganancias similares entre tratamientos (publicación 1, tabla III).

Figura 9. Balance de Nitrógeno promedio del periodo experimental para cada tratamiento



6. CONCLUSIONES

En este trabajo se planteó como hipótesis que forrajes incorporados progresivamente en la dieta de cerdos en crecimiento y terminación, acompañando el desarrollo del tracto gastrointestinal de los animales, permitiría alcanzar niveles de inclusión de hasta el 30 % sin afectar negativamente los indicadores productivos comparados con los de los cerdos alimentados con dietas convencionales. Asimismo, para un mismo nivel de inclusión de forraje, la respuesta productiva se vería favorecida por la mayor relación de FS/FI presente en la composición de la fibra dietética del forraje. La selección de los forrajes para el diseño del experimento se basó en la información bibliográfica de composición de la FD para la alfalfa (T1) y para la achicoria (T2) en función de presentar valores similares de FD pero diferente relación FS/FI. En respuesta a la menor concentración energética de las dietas T1 y T2, los animales incrementaron el consumo para satisfacer sus necesidades energéticas, aunque el consumo medido en T1 y T2 fue menor al valor calculado según la ecuación de consumo voluntario (Black et al., 1986). Para dietas con elevada concentración de FD como las utilizadas en este experimento además del PV, parecería necesario incorporar la concentración de algún parámetro de la fibra para ajustar el consumo. En este experimento, la capacidad máxima quedó expresada cuando el consumo de FD representó el 0,75 % PV (equivalente a 5 % PV^{0,60}). La alimentación a largo plazo con altos niveles de fibra dietética alteró las características anatómicas del tracto digestivo de los cerdos. Los cerdos alimentados con las dietas T1 y T2 presentaron un peso mayor (como %PV) de estómago, de intestino delgado y para T2 también de colon en acuerdo con lo reportado por varios autores para dietas con inclusión de alimentos fibrosos. A pesar de una menor digestibilidad aparente de la MO con respecto a T0, estas adaptaciones condujeron a una mayor proporción de energía digerida como FD en la parte baja del TGI. En este trabajo se alcanzaron valores promedio por encima de 50% digestibilidad de la fibra (como FD, FI, FS o FDN), aunque DFI presentó una interacción significativa entre Fase x Dieta ($P=0.028$). Los valores de digestibilidad de la FS (65% en promedio) fueron superiores a los valores de digestibilidad de la FI, lo que indica que la FS es más

fácilmente degradable (tanto por fermentabilidad como por mayor tiempo de retención en intestino). En este sentido, el consumo de MO digestible como estimador de la energía digestible ingerida, fue mayor en T2 con respecto a T1, lo que sugiere un aporte mayor de energía para la dieta con inclusión de achicoria (con mayor relación FS/FI) respecto a la dieta con inclusión de alfalfa. Sin embargo, las ganancias diarias de PV de los animales fueron similares entre dietas para todas las Fases ($P=0.129$), aunque menores a lo esperado de acuerdo al cálculo de EM ingerida, posiblemente asociado a diferencias en la eficiencia de utilización de la energía (km) en dietas ricas en alimentos fibrosos en relación a la eficiencia de utilización de dietas estándar para cerdos. En cuanto a la utilización del N de la dieta, las dietas T1 y T2 incrementaron la proporción de N excretado en heces en relación al N de la orina, asociado a la mayor producción de proteína bacteriana asociada a la fermentación de los componentes de la fibra en el tracto bajo del cerdo. Como resultado de las entradas y salidas de N, la retención promedio de N en el período experimental presentó una tendencia a ser menor ($P=0.067$) para las dietas con inclusión de forraje respecto a T0, aunque esta tendencia no se manifestó en diferencias en las ganancias diarias entre tratamientos. Estos cambios de destino en la excreción podrían considerarse una medida de atenuación del impacto ambiental del N urinario que es altamente reactivo en el ambiente (pérdidas como NH_3 , N_2O).

Finalmente, la alimentación a largo plazo con altos niveles de fibra dietética alteró las características anatómicas del tracto digestivo de los cerdos en función de un periodo de adaptación progresiva a la inclusión de forraje en la dieta, permitiendo alcanzar consumos elevados de FD (600 a 700 g/d). La fibra dietética aumentó la fermentación microbiana ileal y posileal, en particular en el caso de la FS que permitió alcanzar niveles de MOD aparente levemente inferiores a T0 pero mayores a T1. Por lo tanto, el nivel de FD y la composición de la fibra dietética (relación FS/FI) de la dieta, pueden considerarse factores importantes que influyen en la tasa de digestión y el aporte de energía en los cerdos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ache J, Aragón C, Furest JP, Lorenzo D. 1983. Sustitución de ración por pasturas en cerdos para el mercado. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Udelar. 90 p.
- Adapa P, Schoenau G, Tabil L, Sokhansanj S, Singh A. 2007. Compression of fractionated sun-cured and dehydrated alfalfa chops into cubes-specific energy models. *Bioresource Technology*, 98(1):38-45.
- Adlercreutz H. 2007. Lignans and Human Health. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 44(5-6): 483-525.
- Albersheim P, Darvill A, Roberts K, Sederoff R., Staehelin A. 2010. The Structural Polysaccharides of the Cell Wall and How They Are Studied. Capítulo 2. En: *Plant cell walls*. Nueva York. Garland Science. (ISBN 9780203833476). 24p.
- Andersson C, Lindberg JE. 1997. Forages in diets for growing pigs 1. Nutrient apparent digestibilities and partition of nutrient digestion in barley-based diets including lucerne and white-clover meal. *Animal Science*, 65(3): 483-491.
- Anderson RE, Bottino NR, Reiser R. 1970. Animal endogenous triglycerides: I. Swine adipose tissue. *Lipids*, 5(2): 161-164.
- Anguita M, Canibe N, Pérez JF, Jensen BB. 2006. Influence of the amount of dietary fiber on the available energy from hindgut fermentation in growing pigs: Use of cannulated pigs and in vitro fermentation. *Journal of Animal Science*, 84(10): 2766-2778.
- Anugwa FO, Varel VH, Dickson JS, Pond WG, Krook LP. 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *The Journal of nutrition*, 119(6): 879-886.
- Aspinall GO. 1980. Chemistry of Cell Wall Polysaccharides. En: *The Biochemistry of Plants*, Vol. 3 Ed: Academic Press, Inc. 473-500.
- Aumiller T, Mosenthin R, Weiss E. 2015. Potential of cereal grains and grain legumes in modulating pigs' intestinal microbiota – A review. *Livestock Science*, 172: 16–32

- Babatunde OO, Park CS, Adeola O. 2021. Nutritional Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs. Review. Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs. *Animal*, 11:1196. doi.org/10.3390/ani11051196.
- Bacic A, Harris PJ, Stone BA. 1988. Structure and function of plant cell walls. Capítulo 8. En: *The biochemistry of plants*, volumen 14, Carbohidrates. Pp. 297-371. Editor Jack Preiss, Michigan State University. Google Scholar.
- Bachmann M, Michel S, Greef Jr.M, Zeyner A. 2021. Fermentation Characteristics and In Vitro Digestibility of Fibers and Fiber-Rich Byproducts Used for the Feeding of Pigs. *Animal*, 11(341): 341.
- Battegazzore G. 2006. Efecto de dos sistemas de alimentación de cerdos en crecimiento-terminación en condiciones de producción a campo. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Uruguay. 52 p.
- Bansil R, Turner BS. 2006. Mucin structure, aggregation, physiological functions and biomedical applications. En: *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 11(2):164-170 DOI: 10.1016/j.cocis.2005.11.001
- Bakker GCM, Dekker RA, Jongbloed R, Jongbloed AW. 1998. Non-starch polysaccharides in pig feeding. *Veterinary quarterly*, 20(3):59-64.
- Bakker GCM, Bakker JGM, Dekker RA, Everts H, Jongbloed R, Meulen J van der, Lenis NP. 1996. The quantitative relationship between absorption of nitrogen and starch from the hindgut of pigs. *Journal of Animal Science*, 74(1):188
- Bauza R, González A, Panissa G. 2006. Consumo de forraje por cerdos en ceba recibiendo dos niveles de alimento concentrado. *Producción Porcina*, 13(1):72-75. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_general/80-Bauza.pdf.
- Bauza R, Petrocelli, H. 2005. Uso de pasturas en el crecimiento-terminación de cerdos; pastoreo con acceso restringido. (en línea). En: *Jornada – Taller Utilización de Pasturas en la Alimentación en Cerdos (2005, Montevideo, UY)*. Facultad de Agronomía. 23-31. <http://200.7.141.37/Sitio/Archivos/Bauza%20Petrocelli%202005.pdf>.

- Beaulieu AD, Williams NH, Patience JF. 2009. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. *Journal of Animal Science*, 87: 965-976.
- Bergeron R, Bolduc J, Ramonet Y, Meunier-Salaün MC, Robert S. 2000. Feeding motivation and stereotypies in pregnant sows fed increasing levels of fibre and/or food. *Applied Animal Behaviour Science*, 70(1): 27-40.
- Bikker P, Dirkszwaiger A, Fledderus J, Trevisi P, Le Huërou-Luron I, Lallès JP, Awati A. 2006. The effect of dietary protein and fermentable carbohydrates levels on growth performance and intestinal characteristics in newly weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 84(12):3337–3345.
- Bindelle J, Leterme P, Buldgen A. 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 12.
- Black JL, Williams BA, Gidley MJ. 2009. Metabolic regulation of feed intake in monogastric mammals, Chapter 8, En: *Voluntary feed Intake in pigs*, ed. David Torrallardona & Eugeni Roura, 191-213.
- Black JL. 2000. Amino acid and energy requirements. In: Moughan, PJ., Verstegen MWA. y Visser-Reyneveld MI (eds). *Feed evaluation: principles and practice*. Wageningen Pers, The Netherlands, 189-207.
- Black JL, Campbell RG, Williamst IH, James KJ, Davies GT. 1986 Simulation of energy and amino acid utilization in the pig. *Research and Development in Agriculture*, 3(3): 121-145.
- Blanco A, Blanco G. 2017. Carbohidrates. Capítulo 4. En: *Medical Biochemistry*. London: Academic Blanco & Blanco 2017. 73-97.
- Bremner I, Wilkie KCB. 1971. The hemicelluloses of bracken: Part II. A galactoglucomannan. *Carbohydrate Research*, 20(2): 193-203.
- Brillouet JM, Joseleau JP, Utille JP, Lelievre D. 1982. Isolation, purification and characterization of a complex heteroxylan from industrial wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(3): 488-495.
- Brown I. 2004. Applications and Uses of Resistant Starch, *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 87(3):727–732, <https://doi.org/10.1093/jaoac/87.3.727>

- Burkitt DP, Walker ARP, Painter NS. 1974. Dietary Fiber and Disease. *Jama*, 229(8):1068-1074.
- Canh TT, Sutton AL, Aarnink AJA, Verstegen MWA, Schrama JW, Bakker GCM. 1998. Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 76(7): 1887-1895.
- Canh TT, Verstegen MWA, Aarnink AJA, Schrama JW. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *Journal of Animal Science* 75: 700-706.
- Carlson D, Laerke HN, Poulsen, HD, Jørgensen H. 1999. Roughages for growing pigs, with emphasis on chemical composition, ingestion and fecal digestibility. *Animal Science*. 49(3): 129-136.
- Castellini C, Cardinali R, Rebollar PG, Dal Bosco A, Jimeno V, Cossu ME. 2007. Feeding fresh chicory (*Chicoria intybus*) to young rabbits: Performance, development of gastro-intestinal tract and immune functions of appendix and Peyer's patch. *Animal Feed Science and Technology*, 134(1-2): 56-65.
- Codex Alimentarius. 2009. Report on the 30th session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, Appendix II, p. 46. En: *Codex Alimentarius Commission, ALINORM 09/32/26 Rome, Italy*. 83 p.
- Cole DJA, Duckworth JE, Holmes W. 1967. Factors affecting voluntary feed intake in pigs. II. The effect of two levels of crude fibre in the diet on the intake and performance of fattening pigs. *Animal Production*, 9(2):149-154. doi:10.1017/S0003356100038411.
- Coma J, Bonet J, Companys GV. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. XX Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal. Fira de Barcelona, España, 237-272.
- Costantini AO, Perez MG, Busto M, González FA, Cosentino VRN, Romaniuk RI, Taboada MA. 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. *Ciencia e Investigación*, 68(5):47-54. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4389>

- Cosgrove D. Growth of the plant cell wall. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 6: 850–861. doi.org/10.1038/nrm1746.
- Crampton EW, Maynard LA. 1937. The relation of cellulose and lignin. Content to the nutritive value of animal feeds. *The Journal of Nutrition*, 15(4):383-395.
- Cummings JH, Stephen AM. 2007. Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(1): 5-18.
- Cunha TJ, Ross OB, Phillips PH, Bohstedt G. 1944. Further observations on the dietary insufficiency of a corn-soybean ration for reproduction of swine. *Animal Husbandry and Biochemistry departments*, 415-421.
- Chastain JP, Camberato JJ, Albrecht JE, Adams J. 1999. Swine manure production and nutrient content. South Carolina confined animal manure managers certification program. Clemson University, SC, 1-17.
- Chen L, Zhang H, Gao L, Zhao F, Lu Q, Sa R. 2013. Effect of graded levels of fiber from alfalfa meal on intestinal nutrient and energy flow, and hindgut fermentation in growing pigs. – *Journal of Animal Science* 91: 4757-4764.
- Cho SS, Prosky L. 1999. Complex carbohydrates: Definition and Analysis. Capítulo 11. En: *Complex Carbohydrates in food*. Ed. Susan Sungsoo Cho, Leon Prosky, and Mark Dreher 1999. 131-143.
- Danielsen V, Hansen LL, Mbller F, Bejerholm C, Nielsen S. 2000. Production Results and Sensory Meat Quality of Pigs Fed Different Amounts of Concentrate and Ad Lib Clover Grass or Clover Grass Silage. En: *Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries; Report (2)*; Hermansen, J.E., Lund, V., Thuen, E., Eds.; DARCOF: Tjele, Denmark, 2000,79–86.
- Danielson DM, Butcher JE, Street JC. 1969. Estimation of alfalfa pasture intake and nutrient utilization by growing finishing swine. *Journal Series, Nebraska Agricultural Experiment Station*. 6-12
- Degén L, Halas V, Balbinszky L. 2007. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agriculturae Scandinava, Section A*, 57: 1-9

- De Lange CFM, Pluske J, Gong J, Nyachoti CM. 2010. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Science*, 134(1-3): 124-134.
- Delmer DP, Amor Y. 1995. Cellulose biosynthesis. *The plant cell*, American Society of Plant Physiologists. 7(7): 987-1000.
- DeVries JW, Kjos L, Groff L, Bob M, Kristi C, Patel H, Newcomer L. 1999. Studies in improvement of Official Method 996.06. *Journal of AOAC International*, 82(5), 1146-1155. doi.org/10.1093/jaoac/82.5.1146.
- Dikeman CL, Fahey Jr GC. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8): 649-663.
- Elia M, Cummings JH. 2007. Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(1): 40-74.
- Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterization, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2): 411-421.
- Emmans GC. 1994. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. *British Journal of Nutrition*, 71: 801-821.
- Englyst K, Quigley M, Englyst H, Parmar B, Damant A, Elahi S, Lawrance P. 2013. Evaluation of methods of analysis for dietary fibre using real foods and model foods. *Food Chemistry*, 140(3):568-573.
- Englyst HN, Quigley ME, Hudson GJ. 1994. Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst*, 119(7): 1497-1509.
- Forbes J. 2009. Integration of pre-and post-absorptive factors in feed intake regulation and prediction with particular respect to the pig. En: *Voluntary feed intake in pigs*, Chapter 3, Edited by: David Torrallardona and Eugeni Roura. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2009. 365 p. ISSN 978-90-8686-096-8

- Forbes RM, Hamilton TS. 1952. The utilization of certain cellulosic materials by swine. *Journal of Animal Science*, 11(3): 480–490.
- Fortina R, Brugiapaglia A, Tassone S, Malfatto V, Cavallero A. 2011. Pasture-based swine management: behaviour and performances of growing-finishing pigs. *Animal Science and Biotechnologies*, 44(1): 37-40.
- Furuta H, Maeda H. 1999. Rheological properties of water-soluble soybean polysaccharides extracted under weak acidic condition. *Food Hydrocolloids*, 13(3): 267-274.
- Galassi G, Crovetto GM, Rapetti L, Tamburini A. 2004. Energy and nitrogen balance in heavy pigs fed different fibre sources. *Livestock Production Science*, 85(2-3): 253-262.
- Gibson GR, Probert HM, Van Loo J, Rastall RA, Roberfroid MB. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17(2): 259-275.
- Greenfield H, Southgate DAT. 2003. *Food Composition Data*. FAO. 288 p.
- Guillon F, Champ M, Thibault JF, Saulnier L. 2011. Dietary fibre functional products. En: *Functional foods. Concept to product*. (Ed) Glenn R. Gibson and Christine M. Williams 582-622. Woodhead Publishing.
- Guillon F, Saulnier L, Robert P, Thibault JF, Champ M. 2007. Chemical structure and function of cell walls through cereal grains and vegetable samples. En: *Dietary fibre components and functions*. Ed: Hannu Salovaara, Fred Gates, Majja Tenkanen. Wageningen Academic, Publishers. The Netherlands, 2007. 31-64.
- Gunness P, Gidley MJ. 2010. Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *Food & function*, 1(2): 149-155.
- Hermansen JE, Strudsholm K, Horsted K. 2004. Integration of organic animal production into land use with special reference to swine and poultry. *Livestock Production Science*, 90: 11– 26.
- Hipsley EH. 1953. Dietary “fibre” pregnancy toxemia. *British Medical Journal*, 22: 420-422

- Hopwood DE, Pethick DW, Pluske JR, Hampson DJ. 2004. Addition of pearl barley to a rice-based diet for newly weaned piglets increases the viscosity of the intestinal contents, reduces starch digestibility and exacerbates post-weaning colibacillosis. *British Journal of Nutrition*, 92(3): 419-427.
- Hoover W, Stokes S. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal Dairy Science*. 74:3630-3644.
- Huntley NF, Patience JF. 2018. Xylose: absorption, fermentation, and post-absorptive metabolism in the pig. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1): 1-9.
- Ivarsson E, Andersson R, Lindberg JE. 2012. Digestibility of fibre sources and molecular weight distribution of fibre fractions in ileal digesta of growing pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 66 (6): 445–457.
- Ivarsson E, Liu HY, Dicksved J, Roos S, Lindberg JE. 2012. Impact of chicory inclusion in a cereal-based diet on digestibility, organ size and faecal microbiota in growing pigs. *Animal*, 6(7): 1077-1085. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731111002709>.
- Ivarsson E, Frankow-Lindberg BE, Andersson HK, Lindberg JE. 2011. Growth performance, digestibility and faecal coliform bacteria in weaned piglets fed a cereal-based diet including either chicory (*Cichorium intybus* L) or ribwort (*Plantago lanceolata* L) forage. *Nutrition Research Reviews*, 17: 259–275.
- Ivarsson E, Frankow-Lindberg BE, Andersson K, Lindberg JE. 2010. Effect of inclusion level of chicory (*Cichorium intybus* L) and ribwort (*Plantago lanceolata* L) forage in a cereal-based diet on dietary fibre digestibility in weaned piglets of different age. *Livestock Science*, 134(1-3): 202-204.
- Jakobsen M, Preda T, Kongsted AG, Hermansen JE. 2015. Increased foraging in outdoor organic pig production-Modeling environmental consequences. *Foods*, 4: 622–644.
- Jarret G, Cerisuelo A, Peu P, Martinez J, Dourmad JY. 2012. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. *Agriculture, ecosystems & environment*, 160:51-58.

- Jha R, Berrocoso JD. 2015. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*, 9(9): 1441–1452.
- Jha R, Leterme P. 2012. Feed ingredients differing in fermentable fibre and indigestible protein content affect fermentation metabolites and faecal nitrogen excretion in growing pigs. *Animal*, 6(4): 603–611. doi:10.1017/S1751731111001844.
- Jha R, Bindelle J, Rossnagel B, Van Kessel A, Leterme P. 2010. In vitro fermentation characteristics for pigs of hullless barleys differing in β -glucan content. *Livestock Science*, 133(1-3): 141-143.
- Jarvis MC, Forsyth W, Duncan HJ. 1988. A survey of the pectic content of nonlignified monocot cell walls. *Plant Physiology*, 88(2): 309-314.
- Jenkins DJ, Kendall CW, Vuksan V. 2000. Viscous fibers, health claims, and strategies to reduce cardiovascular disease risk. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71 (2): 401–402.
- Jensen BB, Jørgensen H. 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Applied and environmental microbiology*, 60(6): 1897-1904. <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/aem.60.6.1897-1904.1994>.
- Jin L, Reynolds LP, Redmer DA, Caton JS, Crenshaw JD. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *Journal Animal Science*, 72(9):2270-2278. doi: 10.2527/1994.7292270x.
- Johnson IT, Southgate DAT. 1994. Dietary fibre and related substances. Food safety series. AFRC Institute of Food Research, Norwich, UK. ISBN 978-1-4899-3308-9 (eBook) 141 p
- Jørgensen H, Zhao XQ, Eggum BO. 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition*, 75(3): 365-378.
- Kass ML, Van-Soest PJ, Pond WG, Lewis B, McDowell RE. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. 1. Apparent digestibility of diet

- components in specific sections of the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science*, 50:175–191.
- Keegstra K. 2010. Plant Cell Walls. *Plant Physiology*, 154(2): 483–486, doi.org/10.1104/pp.110.161240.
- Knudsen KEB. 2015. Microbial Degradation of Whole-Grain Complex Carbohydrates and Impact on Short-Chain Fatty Acids and Health. *Advances in Nutrition*, 6(2): 206–213.
- Knudsen KEB, Hedemann MS, Lærke HN. 2012. The role of carbohydrates in intestinal health of pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2): 41-53.
- Knudsen KEB. 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1): 3-20.
- Knudsen KEB, Jensen B, Andersen JO, Hansen I. 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions 2. Microbial activity in the gastrointestinal tract. *British Journal of Nutrition*, 65(02): 233-248.
- Konstantinov SR, Awati A, Smidt H, Williams BA, Akkermans AD, De Vos WM. 2004. Specific response of a novel and abundant *Lactobacillus amylovorus*-like phylotype to dietary prebiotics in the guts of weaning piglets. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(7): 3821-3830.
- Kritchevsky D. 1988. Dietary Fiber. *Annual Review of Nutrition*, 8(1): 301-328.
- Kuan KK, Stanogias G, Dunkin AC. 1983. The effect of proportion of cell-wall material from lucerne leaf meal on apparent digestibility, rate of passage and gut characteristics in pigs. *Animal Science*, 36(02): 201–209. doi: 10.1017/S1357729800001259.
- Kyriazakis I, Emmans GC. 1995. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. *British Journal of Nutrition*, 73: 191-207.
- Lau JM, McNeil M, Darvill AG, Albersheim P. 1985. Structure of the backbone of rhamnogalacturonan I, a pectic polysaccharide in the primary cell walls of plants. *Carbohydrate Research*, 137:111-125.

- Lebret B. 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2(10): 1548–1558.
- Le Dividich J, Noblet J, Bikawa T. 1987. Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed to equal rate of gain. *Livestock Production Science*, 17: 235-246.
- Lindberg JE. 2014. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(15): 1-7.
- Lindberg JE, Andersson C. 1998. The nutritive value of barley-based diets with forage meal inclusion for growing pigs based on total tract digestibility and nitrogen utilization. *Livestock Production Science*, 56: 43–52.
- Lindberg JE, Cortova Z, Thomke S. 1995. The Nutritive Value of Lucerne Leaf Meal for Pigs Based on Digestibility and Nitrogen Utilization, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 45(4): 245-251.
- Lineback DR. 1999. The Chemistry of Complex. En: *Complex carbohydrates in foods*, Capitulo 10. Editado por S.S. Cho, L. Prosky y M. Dreher. 115-129
- Liu H, Ivarsson E, Dicksved J, Lundh T, Lindberg JE. 2012. Inclusion of Chicory (*Cichorium intybus* L.) in Pigs' Diets Affects the Intestinal Microenvironment and the Gut Microbiota. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(12): 4102–4109.
- Liu W, Ye M, Liao J, Zhao Z, Kim I, An L. 2018. Application of Complex Probiotics in Swine Nutrition – A Review. *Annals of Animal Science*, 18 (2): 335-350.
- Lopetuso LR, Scaldaferrri F, Petito V, Gasbarrini A. 2013. Commensal Clostridia: leading players in the maintenance of gut homeostasis. *Gut Pathogens*, 5 (23): 1-8.
- López Bote C, Isabel B, Rey AI. 1999. Efecto de la nutrición y del manejo sobre la calidad de la grasa en el cerdo. XV Curso de Especialización. *Avances en nutrición y alimentación animal*. Eds. PG Rebollar, C de Blas y GG Mateos. 1-26
- Low AG. 1985. Rol of dietary fibre in pigs diets (Studies in the agricultural and food sciences). Capítulo 4. En: *Recent Advances in Animal Nutrition*, 1985.

- Haresign W and Cole DJA. University of Nottingham School of Agricultural. ISBN.0-407-01161-7. 87- 112.
- Maljaars J, Peters HPF, Masclee AM. 2007. The gastrointestinal tract: neuroendocrine regulation of satiety and food intake. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 26: 241-250.
- Mateos GG, Fondevila G, Cámara L. 2019. The importance of the fibre fraction of the feed in non-ruminant diets. Capítulo 3. En: The value of fibre Engaging the second brain for animal nutrition. (Eds): G. González-Ortiz, M.R. Bedford, K.E.B. Knudsen, C.M. Courtin, H.L. Classen. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- McBurney MI, Sauer WC. 1993. Fiber and large bowel energy absorption: validation of the integrated ileostomy-fermentation model using pigs. *The Journal of Nutrition*, 123(4): 721-727.
- Mccance RA, Lawrence RD. 1929. The carbohydrate content of foods. Special Report Series. Medical Research Council, 135: 73.
- McCleary BV, Cox J. 2017. Evolution of a definition for dietary fiber and methodology to service this definition. *Luminacoids research*, 21(2): 9-21.
- McCleary BV, De Vries JW, Rader JI, Cohen G, Prosky L, Mugford DC, Okuma K. 2010. Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 93(1): 221-233.
- Metzler BU, Mosenthin R. 2008. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(4): 603-615.
- Meunier-Salaün MC, Edwards SA, Robert S. 2001. Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Animal Feed Science and Technology*, 90: 53–69.
- MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2006. Encuesta Porcina. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Eds: Edición Ana Grasso, Adriana Ramilo, Carlos Ramos. Montevideo, Uruguay. 87 p

- Mielmann A. 2013. The utilisation of lucerne (*Medicago sativa*): a review. *British Food Journal*, 115(4): 590 – 600. doi.org/10.1108/00070701311317865
- Molist F, De Segura AG, Gasa J, Hermes RG, Manzanilla EG, Anguita M, Pérez JF. 2009. Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 149(3-4): 346-353.
- Nahm KH. 2002. Efficient feed nutrient utilization to reduce pollutants in poultry and swine manure. *Critical Review in Environmental Science and Technology*, 32(1): 1–16.
- Navarro DMDL, Bruininx EMM, de Jong L, Stein HH. 2019. Effects of inclusion rate of high fiber dietary ingredients on apparent ileal, hindgut, and total tract digestibility of dry matter and nutrients in ingredients fed to growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 248: 1–9.
- Navarro DMDL, Bruininx EMM, de Jong L, Stein HH. 2018. Effects of physicochemical characteristics of feed ingredients on the apparent total tract digestibility of energy, DM, and nutrients by growing pigs, *Journal of Animal Science*, 96(6): 2265–2277. doi.org/10.1093/jas/sky149.
- Ngoc TT, Len NT, Lindberg JE. 2012. Chemical Characterization and Water Holding Capacity of Fibre-rich Feedstuffs Used for Pigs in Vietnam. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 25(6): 861-868. doi:10.5713/ajas.2011.11294
- Noblet J. 2015. Energy evaluation of pig and poultry feeds: recent developments and new perspectives. In XXV Congresso Brasileiro de Zootecnia.
- Noblet J. 2007. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36: 277-284.
- Noblet J, Le Goff G. 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1): 35–52. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00195-X.
- Noblet J, Shi XS, Dubois S. 1994. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 72(2): 344–354.

- Nordkvist E, Åman P. 1986. Changes during growth in anatomical and chemical composition and in vitro degradability of lucerne. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37: 1-7.
- Nyachoti CM, Zijlstra RT, De Lange CFM, Patience JF. 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(4): 549-566.
- Nyachoti CM, De Lange CFM, McBride BW, Leeson S, Schulze H. 2000. Dietary influence on organ size and in vitro oxygen consumption by visceral organs of growing pigs. *Livestock Production Science*, 65(3): 229-237
- Nyman EM. 2003. *The Proceedings of the Nutrition Society*, ISSN: 0029-6651, 62(1): 187-192.
- O'Neill MA, Ishii T, Albersheim P, Darvill AG. 2004. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 109-139.
- Oakenfull DG. 2001. Physical Chemistry of Dietary Fiber. Capítulo 2.7 En: *CRC handbook of dietary fiber in human nutrition*, pp. 33-44. CRC Press Boca Raton.
- Painter NS, Burkitt DP. 1971. Diverticular Disease of the Colon: A Deficiency Disease of Western Civilization. *British Medical Journal*, 2(5759): 450-454.
- Playne MJ, McLeod MN, Dekker RF. 1972. Digestion of the dry matter, nitrogen, phosphorus, sulphur, calcium and detergent-fibre fractions of the seed and pod of *Stylosanthes humilis* contained in terylene bags in the bovine rumen. *Journal Science Food Agriculture*, 23(8):925-32. doi: 10.1002/jsfa.2740230803.
- Pond WG, Varel VH, Dickson JS, Haschek WM. 1989. Comparative response of swine and rats to high-fiber or high-protein diets. *Journal of Animal Science*, 67(3): 716-723.
- Prosky L. 1999. What is fibre? Current controversies. *Trends in Food Science & Technology*, 10(8): 271-275.

- Prosky L, Asp NG, Furda I, DeVries JW, Schweizer TF, Harland BF. 1985. Determination of total dietary fiber in food and food products: Collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 68(4): 677-679.
- Phung PLD. 2006. Odor from pig production: Its relation to diet. Wageningen University and Research. <https://search.proquest.com/openview/3db2b70bff5bd5218b9cf753d164f5d6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Qingyun L, Patience JF. 2017. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 233: 22–33.
- Quiniou N, Dourmad J, Noblet J. 1996. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 1. Protein and lipid deposition. *Animal Science*, 63(2): 277-288. doi:10.1017/S1357729800014831
- Ramonet Y, Bolduc J, Bergeron R, Robert S, Meunier-Salaün MC. 2000. Feeding motivation in pregnant sows: effects of fibrous diets in an operant conditioning procedure. *Applied Animal Behaviour Science*. 66(1): 21-29.
- Ramonet Y, Meunier-Salaün MC, Dourmad JY. 1999. High-fiber diets in pregnant sows: Digestive utilization and effects on the behaviour of the animals. *Journal of Animal Science*, 77(3): 591–599.
- Rattanasomboon T, Wester TJ, Smith SL, Morel PCH. 2019. Nutritive value of plantain and chicory for pigs. *Livestock Science*, 223: 8–15.
- Reiter WD. 2002. Biosynthesis and properties of the plant cell wall. *Current opinion in Plant Biology*, 5(6): 536-542.
- Rémésy C, Demigné C, Morand C. 1995. Metabolism of short-chain fatty acids. Capítulo 11. En *Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids* (Eds) Jhon H Cummings, Jhon L. Rombeau, Takashi Sakata. pp. 171-190. Cambridge University.
- Rijnen MM, Verstegen MW, Heetkamp MJ, Schrama JW. 2003. Effects of two different dietary fermentable carbohydrates on activity and heat production in group-housed growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81(5):1210-1219.

- Rose JK, Lee S-J. 2010. Straying off the Highway: Trafficking of Secreted Plant Proteins and Complexity in the Plant Cell Wall Proteome. *Plant Physiology*, 153(2): 433–436, doi.org/10.1104/pp.110.154872.
- Savón L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 36, n.º 2
- Schader C, Muller A, Scialabba NE-H, Hecht J, Isensee A, Erb K-H, Smith P, Makkar HPS, Klocke P, Leiber F, Schwegler P, Stolze M, Niggli U. 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *Journal of the Royal Society Interface*, 12(113): 1-12. doi.org/10.1098/rsif.2015.0891.
- Schneeman BO. 2002. Gastrointestinal physiology and functions. *British Journal of Nutrition*, 88(2):159–163. doi: 10.1079/BJN2002681
- Schrama JW, Bakker GC. 1999. Changes in energy metabolism in relation to physical activity due to fermentable carbohydrates in group-housed growing pigs. *Journal of Animal Science*, 77(12): 3274-3280.
- Schrama JW, Verstegen MWA, Verboeket PHJ, Schutte JB, Haaksma J. 1996. Energy metabolism in relation to physical activity in growing pigs as affected by type of dietary carbohydrate, *Journal of Animal Science*, 74(9): 2220–2225, https://doi.org/10.2527/1996.7492220x
- Selvendran RR. 1985. Developments in the chemistry and biochemistry of pectic and hemicellulosic polymers. *Journal of Cell Science*, 1985(2): 51-88.
- Serena A, Knudsen KEB. 2007. Chemical and physicochemical characterization of co-products from the vegetable food and agro industries. *Animal Feed Science and Technology*, 139:109–124.
- Shriver JA, Carter SD, Sutton AL, Richert BT, Senne BW, Pettey LA. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 81(2): 492-502.
- Smit MN, Zhou X, Landero JL, Young MG, Beltranena E. 2019. Increasing hybrid rye level substituting wheat grain with or without enzyme on growth

- performance and carcass traits of growing-finishing barrows and gilts. *Translational Animal Science*, 3(4):1561-1574.
- Solomon EP, Berg LR, Martin DW. 2001. Organización celular. En: *Biología*. Capítulo 4. Ed 5ta. Editorial Interamericana, Mc Graw – Hill, México, 1996. 73-104
- Sommer H, Sundrum A. 2014. Determining the feeding value and digestibility of the leaf mass of alfalfa (*Medicago sativa*) and various types of clover. Proceedings of 11th European IFSA Symposium, Farming Systems Facing Global Challenges: Capacities and Strategies, Berlin. 1698-1704.
- Souffrant, WB 2001, 'Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 90, no. 1–2, pp. 93-102, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00199-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00199-7)
- Southage DAT. 1992. Dietary Fibre. A Component of Food. En: *The Dietary Fibre Hypothesis: A Historical Perspective*. 3-20
- Southgate DAT. 1969. Determination of carbohydrates in foods. II-Unavailable carbohydrates. *Journal Science Food Agriculture*, 20(6): 331-335.
- Stanogias G, Tjandraatmadja M, Pearce GR. 1985. Effects of source and level of fibre in pig diets on methane production from pig faeces. *Agricultural Wastes*, 12(1): 37–54. doi: 10.1016/0141-4607(85)90044-7.
- Stein HH, Easter RA. 1996. Dietary energy concentration effects carcass leanness in finishing hogs. University of Illinois. Swine Research Reports, Urbana-Champaign, 41.
- Stephen AM. 1983. Other plant polysaccharides. En: *The Polysaccharides*, vol. 2 (ed. G. O.Aspinall), 98-193. New York, London: Academic Press.
- Sun X, Andrew IG, Joblin KN, Harris JP, McDonald A, Hoskin SO. 2008. Polysaccharide compositions of leaf cell walls of forage chicory (*Cichorium intybus* L.), *Plant Science*, 170: 18–27.
- Sun XZ, Joblin KN, Andrew IG, Hoskin SO, Harris PJ. 2008. Degradation of forage chicory by ruminal fibrolytic bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 105: 1286 -1297.

- Trowell H. 1976. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(4): 417–427. doi.org/10.1093/ajcn/29.4.417.
- Urriola PE. 2013 Fiber in Swine Nutrition. SK Cervantes-Pahm, HH Stein. Sustainable swine nutrition L. I. Chiba Ed., 2013. Editor Blackwell Publishing Ltd. Pp. 255-276
- Urriola PE, Shurson GC, Stein HH. 2010, Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs, *Journal of Animal Science*, 88(7): 2373-81. doi:10.2527/jas.2009-2227.
- Van der Heide ME, Stødkilde L, Nørgaard JV, Studnitz M. 2021. The Potential of Locally-Sourced European Protein Sources for Organic Monogastric Production: A Review of Forage Crop Extracts Seaweed, Starfish, Mussel, and Insects. *Sustainability*, 13(2303): 1-30.
- Van Hees HMJ, Davids M, Maes D, Millet S, Possemiers S, Den Hartog LA, Janssens GPJ. 2019. Dietary fibre enrichment of supplemental feed modulates the development of the intestinal tract in suckling piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1): 1-11.
- Van Soest PJ. 1967. Development of a comprehensive system of feed Analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science*, 26(1): 119–128, doi.org/10.2527/jas1967.261119x
- Van Soest PJ, Wine RH. 1967. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constituents, *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 50(1): 50–55. doi.org/10.1093/jaoac/50.1.50
- Van Soest PJ. 1966. Nonnutritive Residues: A System of Analysis for the Replacement of Crude Fiber. *Journal of the AOAC*, 49(3): 5546-551.
- Vehovský K, Zadinová K, Stupka R, Čítek J, Lebedová N, Okrouhlá M, Šprysl M. 2018. Fatty acid composition in pork fat: De-novo synthesis, fatty acid sources and influencing factors—a review. *Agronomy Research*, 16(5): 2211-2228.

- Vierhuis E. 2002. Introducci3n general. Cap3tulo 1. En: Structural characteristics of polysaccharides from olive fruit cell walls in relation to ripening and processing. Wageningen University and Research, 1-13.
- Voragen AG, Coenen GJ, Verhoef RP, Schols HA. 2009. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, 20(2): 263-275.
- Whittemore EC, Kyriazakis I, Tolkamp BJ, Emmans GC. 2002. The short-term feeding behavior of growing pigs fed foods differing in bulk content. *Physiology & Behavior*, 76: 131- 141.
- Wilfart, A, Montagne, L, Simmins, PH, van Milgen, J & Noblet, J 2007, Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber, *Journal of Animal Science*, vol. 85, no. 4, pp. 976–83, <https://doi.org/10.2527/jas.2006-431>.
- Wilson JR. 1993. Organization of Forage Plant Tissues. En: Forage Cell Wall Structure and Digestibility Cap3tulo 1. CSIRO, St. Lucia, Queensland, Australia Printed. 1993. ASA-CSSA-SSSA, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. Pp 1-32.
- Williams BA, Verstegen MWAM, Tamminga S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutrition Research Reviews*, 14(02): 207–227. doi:10.1079/NRR200127
- Wisker E, Knudsen KEB. 2003. The rat as a model for pigs: comparative values for the digestibility of NSP and other macronutrients. *British Journal of Nutrition*, 90(2): 373-383.
- Wong JM, De Souza R, Kendall CW, Emam A, Jenkins DJ. 2006. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 40(3): 235-243.

7. **ANEXOS**

ANEXO 1. Métodos enzimáticos-gravimétricos para la determinación de fibra (AOAC, 2012)

Año	Método AOAC	Fracción que cuantifica	Cálculo
1985-86	985.29	FD	$B \text{ (mg)} = PR - PC_B - C_B$ $FD\% = \frac{(PR - PC - C - B)}{PM} \times 100$
1991-94	991.42	FI	$B \text{ (mg)} = PR - PC_B - C_B$ $FI\% = \frac{(PR - PC - C - B)}{PM} \times 100$
1993-96	993.19	FS	$B \text{ (mg)} = PR - PC_B - C_B$ $FS\% = \frac{(PR - PC - C - B)}{PM} \times 100$
1991-94	991.43	FD, FI y FS	separados
1992-97	992.16	FD = FI + FS	composición de azúcar y lignina Klason
1993-96	993.21	FS	Muestras > 10 % fibra y < de 2 % de almidón

B: blanco; PR = peso residuo; PC: proteína cruda; C: ceniza; PM: peso muestra.

ANEXO 2. Propiedades físicas de las dietas con forrajes

	Dietas		P
	con alfalfa	con achicoria	
Retención de agua	2,25	2,44	0,023
Retención de aceite	1,57	2,12	0,002
Densidad aparente	1,18	1,60	0,002

ANEXO 3. Concentración de EM (Mcal/kg) para cada tratamiento y fase

EM	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Estimada	3,3	3,1	3,2	3,3	3,0	3,1	3,3	3,1	2,7
Observada	3,2	2,8	2,9	2,9	2,6	2,4	3,1	2,9	2,8

Cantidad promedio de energía metabolizable (Mcal/animal/día) consumida para cada tratamiento y fase

	EM estimada			EM observada		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Fase 1	7,7	7,2 ± 0,46	6,5 ± 0,99	7,1 ± 0,42		
Fase 2	9,3	8,1 ± 0,38	7,5 ± 0,29	7,4 ± 0,49		
Fase 3	10,2	9,6 ± 0,26	9,6 ± 0,53	10,1 ± 0,64		

ANEXO 4. Cantidad de heces recolectada en la prueba de digestibilidad para cada tratamiento y fase

Heces	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Kg/animal/día	0,87	1,03	1,34	0,87	1,53	1,70	0,97	2,02	2,69
MS, %	37	39	39	33	30	31	33	30	30
Kg MS/a/d	0,32	0,40	0,52	0,28	0,46	0,53	0,32	0,60	0,81