



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

UTILIZACIÓN DE PULPA GRANULADA DE REMOLACHA EN LA ALIMENTACIÓN DE CONEJOS EN CEBO

Ph.D. Thesis
Orlando Nicolás Arce Cabrera

Valencia, mayo 2024



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

**UTILIZACIÓN DE PULPA GRANULADA DE
REMOLACHA EN LA ALIMENTACIÓN DE
CONEJOS EN CEBO**

Ph. D. Thesis
Orlando Nicolás Arce Cabrera

Valencia, mayo 2024

**UTILIZACIÓN DE PULPA GRANULADA DE
REMOLACHA EN LA ALIMENTACIÓN DE
CONEJOS EN CEBO**

Ph. D. Thesis

Orlando Nicolás Arce Cabrera

Supervisor

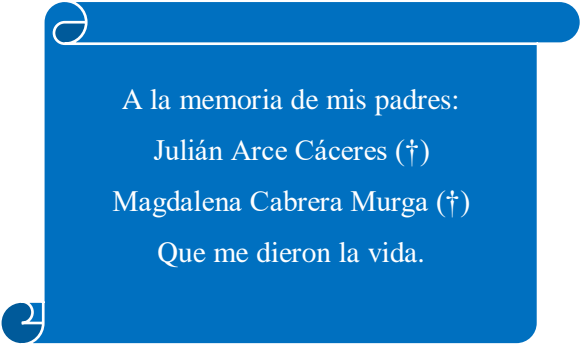
Ph.D. Juan José Pascual Amorós

Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de
la Producción Animal



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

Valencia, mayo 2024



A la memoria de mis padres:
Julián Arce Cáceres (†)
Magdalena Cabrera Murga (†)
Que me dieron la vida.

**A mi esposa Silvia y a mi hijo
Joel.**

A mis hermanos:
Blanca, Oscar, Rosario, María,
Pedro y Natividad.

A mis cuñados:
Luis, Fernando, Jhonny, Paola,
Jhenny.

A mis sobrinos:
Henry, Rayza, Osmar, Kevin,
Luis, Pedro,
Lenny, Jhessica, Madelen,
Pedrito, Jhulian, Isabel y Dulce
Maria.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Oruro (Bolivia), al Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de Valencia (España), por el apoyo académico para realizar la presente tesis doctoral, a la Oficina de Acción Internacional a la Cabeza de Begoña y todo su equipo de la Universidad Politècnica de Valencia por el soporte financiero del trabajo de investigación, a la Comisión Europea y a su programa ARBOPEUE, lote N° 18 por la beca que hizo posible mis estudios.

A mi director: PhD. Juan José Pascual Amorós, por su apoyo incondicional, mi agradecimiento infinito.

Al PhD. Enrique Blas, por alentarme y ser mi docente de Nutrición y Fabricación de piensos que actualmente me sirve de mucho.

Al PhD. Carlos Fernández, por complementar mi formación en Nutrición Animal de Rumiantes.

A la PhD. M^a Concepción Cervera Fras, por haberme apoyado en el inicio de mis estudios en la UPV.

Al PhD. Bernardo Roque Huanca, al M.Sc. Luis Blanco Capia, por su apoyo incondicional permanente y por alentarme para seguir continuando con este reto que emprendí del doctorado.

A los amigos Javier, Luis, Eugenio y Agueda, que me hicieron sentir en casa cada día que estuve en el laboratorio y en la granja, muchas gracias, estarán en mi corazón, nunca los olvidaré.

A Bea, Mari Carmen, Gilbert, Davi y Alberto, por haber compartido el

ambiente de redacción de trabajos de investigación, búsqueda de información por internet y participado en los cursos de actualización del FEDNA en Madrid y de las reuniones de ASESCU, en Peñísula y Barbastro.

A Ceferino, un trabajador dinámico en las organizaciones de ASESCU, siempre preocupado de que todo salga bien.

No puedo olvidarme de mis compañeros del Master en Producción Animal: Eva, Patricia, Silvia, María, Alberto y por supuesto Gilbert.

Un agradecimiento desde lo más profundo de mi ser a mi esposa Silvia y a mi hijo Joel, porque sacrificamos algunos fines de semana al no estar en familia durante el viaje a España, que marcó una huella profunda de distanciamiento físico, aunque nos comunicamos en forma permanente con acceso a la tecnología, espero retribuirles y poder compensar ese vacío que ocasioné en un momento de nuestras vidas.

Quiero agradecer a todos mis amigos que me cooperaron y pedir disculpas si he obviado a alguien.

Gracias, gracias, gracias.

Orlando Nicolas Arce Cabrera

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to evaluate the nutritional value of granulated beet pulp (PR) produced in different sugar-growing areas of Spain, and its adequate levels of inclusion in growth feed for rabbits.

To do this, initially the chemical composition of PR from the north and south of Spain, harvested in winter and summer, respectively, was characterized. The chemical composition and fatty acid and amino acid content of 12 PR samples, grouped according to their origin, were compared. The composition of the dry matter (DM) of the PR is characterized by a low crude protein content (8.7%), within 62% of neutral detergent fiber (NDF), but rich in NDF (39.4%) and fiber. soluble in neutral detergent (45.7%), and low in crude fat (1.2%) and starch (0.9%). The analysis of principal components (PC) of the main immediate principles indicated that the first two PCs already explain 62% of the variability in the composition of the PR. The values of the CP eigenvectors indicated an important weight of the starch and NDF content in the first CP and the ash content in the second CP. The cluster analysis of the chemical composition identified the existence of two subgroups that mainly separated the samples by time of year. The summer RP had a lower content of insoluble ash and starch (-1.7, and -0.4% DM, respectively; $P < 0.01$) and a higher content of NDF (+6.1%; $P < 0.01$) than the RP collected in winter. It is concluded that PR from the Spanish sugar industry is a by-product with a high fiber content, both soluble and insoluble, although it is important to classify the chemical nature of these fibrous components, given their variability depending on the origin.

Subsequently, the digestibility of a control feed with 20% replacement of PR from five different origins was determined, and its possible effect on the nutritional value of these PR for fattening rabbits. Ninety 42-day-old rabbits with 1.49 ± 0.208 kg live weight were used, housed in individual metabolic cages and

fed ad libitum. The digestibility of feed components was determined by the conventional in vivo method of total fecal collection. The digestibility of each of the beet pulps was determined using the substitution method. No effect was seen of replacing components of the control feed with 20% PR from different sources on the voluntary consumption of the rabbits. The inclusion of PR in the diets increased the digestibility of dry matter (DM), organic matter, gross energy and all fibrous fractions, and decreased the digestibility of crude protein. Regarding the effect of origin, significant differences ($P < 0.05$) were observed in the digestibility of all fibrous fractions, with the PR collected in summer being the one with the highest digestibility. The origin of PR also affected its nutritional value, with digestible energy values between 11.8 and 14.5 MJ/kg DM and digestible protein between 38 and 66 g/kg DM.

Finally, to evaluate the effect of the level of inclusion of beet pulp, with or without molasses, on growth performance, a total of 470 rabbits of 28 days of age were used, with 612.2 ± 103.4 gr. live weight. The animals were randomly assigned to five dietary treatments: Control, without beet pulp; PR20 and PR40, with 20 and 40% beet pulp without molasses, respectively; and PRM20 and PRM40, with 20 and 40% beet pulp with molasses, respectively. Daily feed intake (DAI) and average daily gain (ADG) were monitored at 28, 49 and 59 days of age. The characteristics of the carcass and digestive tract were also determined at 59 days of age. Mortality and morbidity were monitored daily. Mortality during the growth period was higher in the PRM than in the PR groups (+9.2%; $P < 0.05$). The greater the inclusion of PR, with or without molasses, the lower the ADC and ADG of the animals, as well as the carcass yield, the proportion of liver and the percentage of dissectable fat in their carcasses. However, the best feed efficiency during the last 10 days was obtained with the PRM40 group. Regarding the digestive parameters, the greater the inclusion of beet pulp, with or without

molasses, the greater the weight of the empty and blind gastrointestinal tract. In fact, a greater inclusion of beet pulp decreased the pH and dry matter, and decreased the total content of volatile fatty acids of the caecum, richer in acetic acid, but poorer in propionic, isobutyric, isovaleric and valeric acids. The stomach weight was lower and the capric acid content in the cecum was higher in the PRM groups than in the PR. The inclusion of beet pulp in the feed reduced the growth performance and carcass yield of growing rabbits and, when beet pulp included molasses, an even higher incidence of digestive disorders was observed.

Regarding the effect of the harvest season on the chemical characteristics of granulated sugar beet pulp, regardless of the season, it provides high fiber content, soluble and insoluble, although it is not an important source of protein, amino acids or fatty acids.

Keywords: Cecal activity; bait rabbits; digestibility; insoluble fiber; Soluble fiber; rabbit mortality; beet pulp; productive performance.

RESUMEN

El principal objetivo de esta tesis fue evaluar el valor nutritivo de la pulpa granulada de remolacha (PR) producida en diferentes zonas azucareras de España y sus adecuados niveles de inclusión en piensos de crecimiento para conejos.

Para ello, inicialmente se caracterizó la composición química de PR procedentes del norte y sur de España, cosechadas en invierno y verano, respectivamente. Se compararon la composición química y el contenido de ácidos grasos y aminoácidos de 12 muestras de PR, agrupadas según su procedencia. La composición de la materia seca (MS) de la PR, se caracteriza por un bajo contenido en proteína cruda (8.7%), dentro del 62% de la fibra neutro detergente (FND), pero rica en FND (39.4%) y fibra soluble en detergente neutro (45.7%), y bajo en grasa bruta (1.2%) y almidón (0.9%). El análisis de componentes principales (CP) de los principales principios inmediatos indicó que ya los dos primeros CP explican el 62% de la variabilidad en la composición de la PR. Los valores de los autovectores de los CP indicaron un importante peso del contenido en almidón y FND en el primer CP y del contenido en cenizas en el segundo CP. El análisis cluster de la composición química identificó la existencia de dos subgrupos que principalmente separaba la muestras por época del año. Las PR de verano tuvieron un menor contenido en cenizas insolubles y almidón (-1.7, y -0.4%MS, respectivamente; $P < 0.01$) y mayor en FND (+6.1%; $P < 0.01$) que las PR recolectadas en invierno. Se concluye que la PR procedente de la industria azucarera española es un subproducto con un alto contenido en fibras, tanto solubles como insolubles, aunque es importante tipificar la naturaleza química de estos componentes fibrosos, dada su variabilidad según el origen.

Posteriormente se determinó la digestibilidad de un pienso control con sustitución de 20% de PR de cinco orígenes distintos, y su posible efecto en el

valor nutritivo de estas PR para conejos de engorde. Se utilizaron 90 conejos de 42 días de edad con 1.49 ± 0.208 kg de peso vivo, alojados en jaulas metabólicas individuales y con alimentación *ad libitum*. La digestibilidad de los componentes de los piensos se determinó por el método convencional *in vivo* de recolección fecal total. La digestibilidad de cada una de las pulpas de remolacha se determinó mediante el método de sustitución. No se apreció efecto de la sustitución de componentes del pienso control por el 20% de PR de diferentes procedencias en el consumo voluntario de los conejos. La inclusión de PR en las dietas aumentó la digestibilidad de materia seca (MS), materia orgánica, energía bruta y de todas las fracciones fibrosas, y disminuyó la digestibilidad de la proteína bruta. Respecto al efecto de la procedencia, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la digestibilidad de todas las fracciones fibrosas, siendo la PR recolectada en verano la de mayor digestibilidad. El origen de la PR también afectó su valor nutritivo, con valores de energía digestible entre 11.8 y 14.5 MJ/kg MS y de proteína digestible entre 38 y 66 g/kg MS.

Finalmente, para evaluar el efecto del nivel de inclusión de pulpa de remolacha, con o sin melaza, sobre el rendimiento del crecimiento, se utilizaron un total de 470 conejos de 28 días de edad, con 612.2 ± 103.4 gr. de peso vivo. Los animales fueron asignados aleatoriamente a cinco tratamientos dietéticos: Control, sin pulpa de remolacha; PR₂₀ y PR₄₀, con 20 y 40% de pulpa de remolacha sin melaza, respectivamente; y PRM₂₀ y PRM₄₀, con 20 y 40% de pulpa de remolacha con melaza, respectivamente. El consumo diario de alimento (CDA) y la ganancia media diaria (GMD) se controlaron a los 28, 49 y 59 días de edad. También se determinaron las características de la canal y del tracto digestivo a los 59 días de edad. La mortalidad y la morbilidad fueron controladas diariamente. La mortalidad durante el período de crecimiento fue mayor en los grupos PRM que en los PR (+9.2%; $P < 0,05$). A mayor inclusión de PR, con o sin

melaza, menor CDA y GMD de los animales, así como el rendimiento a la canal, la proporción de hígado y el porcentaje de grasa disecable de sus canales. Sin embargo, la mejor eficiencia alimenticia durante los últimos 10 días se obtuvo con el grupo PRM₄₀. Respecto a los parámetros digestivos, cuanto mayor fue la inclusión de pulpa de remolacha, con o sin melaza, mayor el peso del tracto gastrointestinal vacío y ciego. De hecho, una mayor inclusión de pulpa de remolacha disminuyó el pH y la materia seca, y disminuyó el contenido total de ácidos grasos volátiles del ciego, más rico en ácido acético, pero más pobre en propiónico, isobutírico, isovalérico y valérico. El peso del estómago fue menor y el contenido de ácido cáprico en el ciego mayor en los grupos PRM que en los PR. La inclusión de pulpa de remolacha en el alimento redujo el rendimiento de crecimiento y el rendimiento de la canal de los conejos en crecimiento y, cuando pulpa de remolacha incluía melaza, se observó una incidencia aún mayor de trastornos digestivos.

Sobre el efecto de la época de cosecha en las características químicas de la pulpa de remolacha azucarera granulada, independientemente de la época, aporta alto contenido de fibra, soluble e insoluble, aunque no es una fuente importante de proteína, aminoácidos o ácidos grasos.

Palabras clave: Actividad cecal; conejos de cebo; digestibilidad; fibra insoluble; fibra soluble; mortalidad de conejos; pulpa de remolacha; rendimiento productivo.

RESUM

L'objectiu principal d'aquesta tesi era avaluar el valor nutritiu de la polpa granulada de remolatxa (PR) produïda en diferents zones de sucre d'Espanya, i els seus nivells adequats d'inclusió en els pinsos de creixement del conill.

Per a això, es va caracteritzar inicialment la composició química de PR del nord i del sud d'Espanya, recol·lectada a l'hivern i l'estiu, respectivament. Es va comparar la composició química i el contingut d'àcids grassos i aminoàcids de 12 mostres de PR, agrupades segons el seu origen. La composició de la matèria seca (MS) del PR es caracteritza per un baix contingut de proteïna crua (8,7%), dins del 62% de la fibra detergent neutra (FND), però ric en FND (39,4%) i fibra soluble en detergent neutre (45,7%) i baix en greixos bruts (1,2%) i midó (0,9%). L'anàlisi principal de components (CP) dels principals principis immediats va indicar que els dos primers CP ja expliquen el 62% de la variabilitat en la composició del PR. Els valors autovector CP van indicar un pes important del contingut de midó i FND al primer CP i del contingut de cendra al segon CP. L'anàlisi del clúster de la composició química va identificar l'existència de dos subgrups que separaven principalment les mostres a temps d'any. Els PR d'estiu tenien un contingut inferior de cendra i midó insolubles (-1,7 i -0,4% MS, respectivament; $P < 0,01$) i superior en FND (+ 6,1%; $P < 0,01$) que el PR recollit a l'hivern. Es conclou que el PR de la indústria del sucre espanyola és un subproducte amb un alt contingut de fibres, tant solubles com insolubles, tot i que és important tipificar la naturalesa química d'aquests components fibrosos, donada la seva variabilitat segons l'origen.

Posteriorment, la digestibilitat d'un aliment de control es va determinar amb una substitució del 20% de PR de cinc orígens diferents i el seu possible efecte sobre el valor nutritiu d'aquests PR per engreixar conills. Es van utilitzar

conills de 90 dies amb $1,49 \pm 0,208$ kg de pes corporal, allotjats en gàbies metabòliques individuals i amb alimentació ad libitum. La digestibilitat dels components dels pinsos va ser determinada pel mètode in vivo convencional de recollida fecal total. La digestibilitat de cadascuna de les púlpes de remolatxa es va determinar mitjançant el mètode de substitució. No hi va haver cap efecte apreciat de substituir els components de l'alimentació de control per un 20% de PR de diferents fonts sobre el consum voluntari de conills. La inclusió de PR en dietes va augmentar la digestibilitat de la matèria seca (MS), la matèria orgànica, l'energia crua i totes les fraccions fibroses i va disminuir la digestibilitat de la proteïna crua. Pel que fa a l'efecte de l'origen, es van observar diferències significatives ($P < 0,05$) en la digestibilitat de totes les fraccions fibroses, i el PR recollit a l'estiu és el que té la màxima digestibilitat. L'origen del PR també va afectar el seu valor nutritiu, amb valors d'energia digeribles entre 11,8 i 14,5 MJ / kg MS i proteïna digestible entre 38 i 66 g / kg MS.

Finalment, per avaluar l'efecte del nivell d'inclusió de la pasta de remolatxa, amb o sense melassa, sobre el rendiment del creixement, es van utilitzar un total de 470 conills de 28 dies, amb $612,2 \pm 103,4$ gr. de pes viu. Els animals van ser assignats aleatòriament a cinc tractaments dietètics: control, sense polpa de remolatxa; PR20 i PR40, amb polpa de remolatxa 20 i 40% sense melassa, respectivament; i PRM20 i PRM40, amb polpa de remolatxa de melassa del 20 i del 40%, respectivament. El consum diari d'aliments (CDA) i el benefici mitjà diari (GMD) es van controlar als 28, 49 i 59 dies d'edat. També es van determinar les característiques del canal i del tracte digestiu als 59 dies d'edat. La mortalitat i la morbiditat es controlaven diàriament. La mortalitat durant el període de creixement va ser superior als grups PRM que a la PR (+ 9,2%; $P < 0,05$). Com més gran sigui la inclusió de PR, amb o sense melassa, el CDA inferior i el GMD dels animals, així com el rendiment al canal, la proporció de

fetge i el percentatge de greixos dissecables als vostres canals. Tanmateix, la millor eficiència alimentària durant els darrers deu dies es va obtenir amb el grup PRM40. Pel que fa als paràmetres digestius, com més gran sigui la inclusió de la polpa de remolatxa, amb o sense melassa, més gran sigui el pes del tracte gastrointestinal buit i cec. De fet, una major inclusió de la polpa de remolatxa va disminuir el pH i la matèria seca i va disminuir el contingut total d'àcids grassos volàtils al cec, més ric en àcid acètic, però més pobre en propionic, isobutíric, isoval i valeric. El pes de l'estómac era inferior i el contingut d'àcid capric al cecum era més elevat en els grups PRM que en el PR. Inclusió de la polpa de remolatxa en aliments va reduir el rendiment del creixement i el rendiment del canal dels conills creixents i, quan la polpa de remolatxa incloïa melassa, es va observar una incidència encara més elevada de trastorns digestius.

A l'efecte de la temporada de collita sobre les característiques químiques de la polpa de remolatxa de sucre granulada, independentment de la temporada, proporciona un alt contingut de fibra, soluble i insoluble, tot i que no és una font important de proteïnes, aminoàcids o àcids grassos.

Paraules clau: Activitat cecal; conills d'esquer; digestibilitat; fibra insoluble; fibra soluble; mortalitat de conill; polpa de remolatxa; rendiment productiu.

ÍNDICE GENERAL

ABSTRACT	viii
RESUMEN.....	xi
RESUM	xiv
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.1. Enteropatía epizootica del conejo.....	5
1.1.2. La confusa etiología de la enteropatía epizootica	11
1.1.3. Fibra dietaria en la salud digestiva del conejo	13
1.1.4. La pulpa de remolacha como fuente de fibra soluble	17
1.1.5. La composición química de la pulpa de remolacha	20
1.1.6. Valor nutritivo de la pulpa de remolacha	22
1.2. REFERENCIAS	28
II. OBJETIVOS.....	47
2.1. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	49
2.1.1. Objetivo general	49
2.1.2. Objetivos específicos	49
III. EXPERIMENTOS.....	50
3.1. EFECTO DE LA ÉPOCA DE COSECHA EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PULPA GRANULADA DE REMOLACHA AZUCARERA (<i>Beta vulgaris</i>).....	52
3.1.1. Resumen.....	52
3.1.2. Introducción	53
3.1.3. Materiales y métodos	54
3.1.4. Resultados y discusión	56
3.1.5. Conclusión	65
3.1.6. Referencias.....	66

3.2.	EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE PULPAS GRANULADAS DE REMOLACHA DE DIFERENTE ORIGEN EN LA DIGESTIBILIDAD Y EL VALOR NUTRITIVO DE DIETAS PARA CONEJOS DE ENGORDE.....	72
3.2.1.	Resumen.....	72
3.2.2.	Materiales y métodos.....	75
3.2.3.	Resultados y discusión.....	80
3.2.4.	Conclusiones.....	87
3.2.5.	Referencias.....	88
3.3.	EFFECTO DEL NIVEL EN PIENSO DE PULPA GRANULADA DE REMOLACHA, CON O SIN MELAZA, SOBRE EL ESTADO DE SALUD Y EL CRECIMIENTO DE CONEJOS	98
3.3.1.	Resumen.....	98
3.3.2.	Introducción.....	99
3.3.3.	Materiales y métodos.....	100
3.3.4.	Resultados.....	107
3.3.5.	Discusión.....	111
3.3.6.	Conclusiones.....	117
3.3.7.	Referencias.....	119
IV.	DISCUSIÓN GENERAL.....	126
4.1.	DISCUSIÓN GENERAL.....	127
4.2.	REFERENCIAS.....	130
V.	CONCLUSIONES.....	132
5.1.	CONCLUSIONES.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.1. Composición química de las pulpas deshidratadas de remolacha (%).	22
Tabla 1.1.2. Valor nutricional de la pulpa de remolacha (Besancenot 1983). ...	24
Tabla 3.1.1. Composición química (%MS) de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12).....	59
Tabla 3.1.2. Matriz de correlaciones entre componentes de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (coeficiente de Pearson; P-valor).	60
Tabla 3.1.3. Efecto de la época del año (invierno o verano) sobre la composición química (%MS) de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12).	65
Tabla 3.2.1. Ingredientes (% DM) del pienso de control y de los diferentes piensos experimentales que incluían pulpas de remolacha (PR) de diferentes fábricas .	77
Tabla 3.2.2. Composición química (% en base a materia seca) de las 5 pulpas de remolacha (PR) utilizadas en la formulación de los piensos experimentales. ...	78
Tabla 3.2.3. Composición química (%MS) de los piensos control y experimentales con la adición de un 20% de pulpa de remolacha de diferentes fábricas (de R1 a R5).	78
Tabla 3.2.4. Efecto de la sustitución del 20% de la pulpa granulada de remolacha de diferentes fábricas (R1 a R5) en la mezcla base, sobre la ingestión (g/día) y la digestibilidad fecal aparente (%) en conejos de engorde (media \pm error estándar).	81
Tabla 3.2.5. Valor nutritivo de las pulpas de remolacha (PR) evaluadas en conejos de engorde.	83
Tabla 3.3.1. Ingredientes (%) de las dietas experimentales ¹	101
Tabla 3.3.2. Composición química (g/kg MS) de las dietas experimentales ¹ ..	102

Tabla 3.3.3. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) sobre la morbilidad y mortalidad de los conejos de engorde.....	107
Tabla 3.3.4. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) en el rendimiento de crecimiento de conejos de engorde.	109
Tabla 3.3.5. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) en la canal y el tracto digestivo de los conejos de engorde a los 59 días de edad.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1. Efecto de la relación fibra/almidón dietaria sobre distintos parámetros cecales de conejos en crecimiento sanos (+, aumenta; -, disminuye; ≈, no varía; ?, insuficiente información; Gidenne, 1996).....	16
Figura 1.1.2. Cambios de distintos parámetros cecales de conejos en crecimiento con problemas digestivos (+, aumenta; -, disminuye;?, insuficiente información; Gidenne, 1996)	17
Figura 1.1.3. Esquema representativo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la remolacha y obtención de los distintos subproductos, incluida la pulpa de remolacha (Fernández <i>et al.</i> , 2007).....	19
Figura 3.1.1. Representación del patrón de las tres primeras componentes principales obtenidas a partir de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12). Entre paréntesis, el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente.....	63
Figura 3.1.2. Dendrograma obtenido a partir del análisis cluster de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12). [Mue: número de muestra; Fab: número de fábrica (1 a 6); inv: invierno; ve: verano].....	64
Figura 3.3.1. Evolución de la mortalidad de conejos en crecimiento durante el período de engorde en función de la dieta experimental. C, control sin pulpa de remolacha; PR ₂₀ , con un 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR ₄₀ , con un 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM ₂₀ , con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM ₄₀ , con un 40% de pulpa de remolacha con melaza.....	108

ABREVIACIONES Y SIGLAS

AA:	aminoácidos
AGV:	ácidos grasos volátiles
AOAC:	Association of Official Analytical Chemists
ASESCU:	Asociación Española en Cunicultura
CH₄:	metano
CNF:	carbohidratos no fibrosos
CP:	componentes principales
CV:	coeficiente de variación
CDa:	coeficiente de digestibilidad aparente
DB:	digestibilidad de la dieta basal %
DP:	digestibilidad de cada pienso (Dieta basal + PR) %
DPR:	digestibilidad de cada pulpa de remolacha %
EB:	energía bruta
ED:	energía digestible
EE:	extracto etéreo
EEC:	enteropatía epizoótica en conejos
EGRAN:	European Group on Rabbit Nutrition
FAD:	fibra ácido detergente
FND:	fibra neutro detergente
FDT:	fibra dietaria total
FEDNA:	Federación Española en Nutrición Animal
FS:	fibra soluble
FSDN:	fibra soluble en detergente neutro
GB:	grasa bruta
GLM:	General Lineal Model
h:	horas
H₂:	hidrógeno
HPLC:	high-performance liquid chromatography
IRS:	índice de riesgo de salud
KJ:	kilojulios
LAD:	lignina ácido detergente
MAPA:	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
ME:	energía metabolizarle
MJ:	megajulios
MS:	materia seca
MSI:	materia seca ingerida
N-NH₃:	nitrógeno amoniacal
NRC:	National Research Council
PGR₁:	pienso con pulpa granulada de remolacha con melaza
PGR₂:	pienso con pulpa granulada de remolacha sin melaza

PGR₃:	pienso con pulpa granulada de remolacha con melaza
PGR₄:	pienso con pulpa granulada de remolacha con melaza
PGR₅:	pienso con pulpa granulada de remolacha con vinaza
PB:	proteína bruta
PC:	proteína cruda
PBFDN:	proteína bruta ligada a la fibra detergente neutra
PGR:	pulpa granulada de remolacha
PGRCM:	pulpa granulada de remolacha con melaza
PGRSM:	pulpa granulada de remolacha sin melaza
PV:	peso vivo
SAS:	Statistical Análisis System
t:	t de Student
TGI:	tracto gastrointestinal
UK:	Reino Unido
W^{0.75}:	peso metabólico

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN

Los conejos son animales altamente prolíficos que convierten muy eficientemente el material vegetal en carne muy nutritiva y saludable para la alimentación humana y la seguridad alimentaria (Zamaratskaia *et al.*, 2023). El último reporte al año 2020 indica que la producción global de carne de conejo está cerca del millón de toneladas por año, la cual se produce un 20% en Europa y 6.3% en España (FAO, 2022), contribuyendo a la soberanía alimentaria en el mundo (Cawthorn y Hoffman, 2014; Dalle Zotte, 2014). La aparición de dos cepas de enfermedad hemorrágica del conejo (GI.1 y GI.2) en las décadas de 1990 y 2010, respectivamente, ha sido el principal determinante de la disminución de los conejos salvajes europeos dentro de su área de distribución nativa, con brotes en las cuniculturas comerciales con importantes pérdidas económicas (Santoro *et al.*, 2023).

La carne de conejo se caracteriza por ser una carne magra, rica en proteínas de alto valor biológico, bajo contenido en colesterol y sodio, y un buen contenido en ácido linoleico, lo que la define como una carne más saludable que otras de uso frecuente en la alimentación humana (Nistor *et al.*, 2013; Pedro *et al.*, 2021).

Por su parte, la enteropatía epizoótica en conejos (EEC) se ha convertido en el problema de salud digestiva más importante en la cría intensiva de conejos en Europa, a partir de su reporte en Francia en 1996. La mayor incidencia de la enfermedad se produce principalmente después del destete, ocasionando altas tasas de mortalidad (30-80%) durante este período (Licois *et al.*, 2005; Pogány-Simonová *et al.*, 2020), por lo que representa también un grave problema económico en la industria cunícula europea (Dewree *et al.*, 2003; EFSA *et al.*, 2020), además de una afectación a la salud y bienestar animal (Schlölaut *et al.*,

2013; Hamid *et al.*, 2019).

es una enfermedad de los conejos domésticos europeos (*Oryctolagus cuniculus*) que se ha reconocido durante casi 50 años pero que aún no se comprende bien.

La Fundación Colorado de Conejo silvestre ha reportado cuatro casos de enteropatía mucoide/enteropatía epizootica del conejo, con presentaciones similares en especies de conejos de cola blanca (*Sylvilagus spp.*), cuya morbilidad y mortalidad son elevadas, capaz de provocar grandes pérdidas en las instalaciones nacionales de producción de conejos, y con signos clínicos, patología macroscópica y hallazgos histopatológicos consistentes con lo descrito en conejos domésticos (Paul y Friend, 2023).

Por ello, la medicación antibiótica del pienso se ha convertido en una de las prácticas más comunes en el control de la EEC (Maertens *et al.*, 2005; Dip *et al.*, 2015), a pesar de que su uso frecuente puede generar resistencia bacteriana (Falcão-e-Cunha *et al.*, 2007; Ibrahim *et al.*, 2020), con implicaciones en la producción animal (Hao *et al.*, 2014; Ibrahim *et al.*, 2020) y la salud humana (Marshall y Levy, 2011; Puón-Peláez *et al.*, 2020), en contraposición al principio de Una Sola Salud, siendo una amenaza importante para la salud pública en todo el mundo, y una de las principales causas de muerte en 2050 (Montoro-Dasi *et al.*, 2022), por lo que su uso debería limitarse en dietas de animales de abasto, según las recomendaciones de la Unión Europea (EC, 2017), siendo necesario buscar nuevas estrategias de control de la enfermedad.

La inclusión de pulpas de remolacha azucarera en la dieta, entre otras materias primas, tienen efectos beneficiosos en la producción de carne de conejo (Cobos *et al.*, 1995), siendo una importante fuente de fibra soluble en la nutrición de equinos (Wróblewska *et al.*, 2021), que limita la incidencia de la enteropatía

epizoótica del conejo y mejora el equilibrio energético y de nitrógeno en dietas bajas en fibra insoluble (Farías-Kovac *et al.*, 2020), reduciendo la mortalidad, debido a su alta fermentabilidad que mejora la integridad y funcionalidad de la mucosa intestinal (Gómez-Conde *et al.*, 2007; Puón-Peláez *et al.*, 2020) ocasiona cambios en la microbiota intestinal y mejora la función de la barrera intestinal justo después del destete (Trocino *et al.*, 2013; Arce *et al.*, 2022).

De todas las formas de pulpa de remolacha comercializadas en España, la pulpa granulada de remolacha (PGR) constituye la de mayor uso en dietas de conejos por las características peculiares de la preparación de alimentos para esta especie. La presente tesis doctoral pretende mejorar el estado del conocimiento sobre el posible uso de PGR en la alimentación de conejos, para lo cual se realizó una revisión sucinta del problema de la enteropatía epizoótica del conejo como problema en la crianza de conejos, los problemas de la medicación antibiótica, y la pulpa de remolacha como alternativa por sus características nutricionales, con énfasis en el rol de la fibra en la salud digestiva del conejo.

1.1.1. Enteropatía epizoótica del conejo

La enteropatía epizoótica del conejo (EEC) es un síndrome digestivo severo que, desde su aparición en 1996, se ha difundido por Europa aumentando drásticamente las tasas de mortalidad en las granjas industriales (Duval, 1998; Hamid *et al.*, 2019; Solans *et al.*, 2019). Es probablemente la primera causa de mortalidad en las granjas europeas (Licois *et al.*, 2005; Solans *et al.*, 2019) y una de las enfermedades que ocasiona mayores costos de producción (Dewree *et al.*, 2003; Espinoza *et al.*, 2020; Puón-Peláez *et al.*, 2020).

Esta patología afecta principalmente a conejos de 6-14 semanas de edad, y aunque su sintomatología puede ser un poco variable, habitualmente deprime el consumo de agua y alimento, con frecuencia se observa además diarrea acuosa,

impacción del ciego y pueden oírse también borborismos. En la necropsia se observa el tracto digestivo anterior muy lleno, incluido el estómago, sin proceso de inflamación (Licois *et al.*, 2005; Espinoza *et al.*, 2020). La parte anterior del estómago se encuentra distendido por grandes volúmenes de gases y líquido y la parte perianal se caracteriza por una diarrea líquida (Romero, 2011; Hamid *et al.*, 2019; Solans *et al.*, 2019; Espinoza *et al.*, 2020).

Los tratamientos combinados con antimicrobianos contra Gram-positivos y Gram-negativos (Rosell *et al.*, 2000; Skoufos *et al.*, 2020) son las únicas medidas efectivas conocidas, pero la mortalidad puede aumentar otra vez apenas se suspende el tratamiento (Maertens *et al.*, 2005; Benlemlih *et al.*, 2023). A pesar de su uso, en ocasiones se mantienen niveles de mortalidad que afectan la viabilidad de las explotaciones. A pesar de que se acepta que EEC es una enfermedad infecciosa, no se ha identificado agente causal específico (Licois *et al.*, 2005; Marlier *et al.*, 2006; Szalo *et al.*, 2007; Solans *et al.*, 2019). La mortalidad sube en 8 – 12 días postdestete, independientemente de la edad del destete (Garrido *et al.*, 2009; Benlemlih *et al.*, 2023). Los animales que sobreviven al síndrome tienen menor consumo de alimento y menor ganancia de peso (Szalo *et al.*, 2007; Solans *et al.*, 2019).

El tracto digestivo del conejo está diseñado para procesar grandes cantidades de alimentos vegetales ricos en fibra, gracias a su voluminoso ciego y a la presencia de microbiota que le posibilita realizar esa labor (Bagóné Vántus *et al.*, 2014; Tissue, G. A. L. 2020). La fermentación de la fibra tiene lugar en el ciego, por esa razón la microbiota cecal y el proceso de fermentación juegan un papel clave en la digestión (Gidenne, 2015). En animales normales, el ciego contiene gran cantidad de protozoarios ciliados y bacilos metacromáticos grandes. En cambio, en animales con desbalance microbiana cecal pueden sufrir disbiosis cecal y aumento de microorganismos Gram-negativos.

La disbiosis es una condición anormal ocasionada por desbalances microbianos en el tracto digestivo. Existe mucha evidencia de que la disbiosis de la microbiota intestinal está asociada con la patogénesis de los desórdenes intestinales (Carding *et al.*, 2015). Algunos autores asocian la disbiosis cecal del conejo a dietas demasiado ricas en azúcares simples o carbohidratos, que desequilibran las poblaciones de *Clostridium perfringens* (Romero *et al.*, 2011), *Cyniclomyces guttulatus* o *Saccharomycopsis guttulata*, una levadura benéfica no patógena normal del tracto digestivo del cuy, el conejo y la chinchilla, cuya población crece y se multiplica exponencialmente en presencia de azúcares (Hersey-Benner, 2008).

Un antiguo estudio observa en un examen microbiológico de conejos diarreicos que un 16.2% de estos animales presentaban *Clostridium perfringens* y un 32.3% *Saccharomycopsis guttulata* (Peeters *et al.*, 1984). Sin embargo, ninguno de los animales presentó lesiones típicas en el ciego tales como descamación epitelial, hemorragia y edema; por lo que estos microorganismos son considerados como parte de la flora intestinal normal (Carding *et al.*, 2015). Otras poblaciones de organismos tales como *Clostridium spiroforme* y *Escherichia coli* también se desequilibran en los animales enfermos, alterando la elaboración de cecotropos normales y la motilidad intestinal normal. La digesta se estaciona demasiado tiempo en el ciego, afectando seriamente la nutrición del conejo a causa de la defectuosa formación y la limitada ingestión de cecotropos. Por ello, los conejos con disbiosis cecal tienen un marcado aumento en el número de bacterias coliformes que desarrollan trastornos digestivos (Laparra y Sanz, 2010; Jenckel *et al.*, 2022).

El pH normal del ciego de un conejo saludable está en un promedio de 5.8 (Martignon *et al.*, 2010; Hassan *et al.*, 2019; Rahman *et al.*, 2020); sin embargo, el pH cecal de un conejo joven es más bajo (5.5), lo suficientemente

bajo, con efecto microbicida, que puede inducir cambios en el balance de la flora cecal; aunque esto puede variar según el tipo de dieta, con valores de 6.42, 6.38 y 7.02, para dietas extruida, peletizada y muesli, respectivamente (Alvarenga *et al.*, 2017). La restricción de alimento en conejos jóvenes puede aumentar en 19% los AGV totales y disminuir en 0.1 unidades el pH (Combes *et al.*, 2017). Algunos alimentos de alto contenido de almidón, tales como los granos o los peletizados de granos, son altamente fermentables, promueven la hiperacidosis cecal y subsecuente disbiosis (Lelkes y Chang, 1987; Li *et al.*, 2023).

Los cambios resultantes de la disminución de la motilidad cecal pueden conducir a la hipersecreción de líquido intestinal, a la pérdida de agua, potasio y bicarbonatos y frecuentemente a la muerte. La inestabilidad microbiana puede ocurrir más a menudo en animales jóvenes, donde los mecanismos homeostáticos están pobremente desarrollados, de manera que incrementa la susceptibilidad a los cambios dietarios asociados con el destete (Lelkes y Chang, 1987; Combes *et al.*, 2013).

Los conejos jóvenes, especialmente aquellos de reciente destete, son los más susceptibles a la disbiosis y a la enteropatía cuando son alimentados con dietas de alto contenido de almidón, debido a varios factores combinados. Antes de las 4 semanas de edad, el ambiente gástrico del conejo no alcanza aún pH 2.0 como en el conejo adulto, de manera que los patógenos ingeridos pueden superar la barrera gástrica y llegar al intestino. El páncreas del conejo destetado puede no estar totalmente desarrollado, pudiendo faltar la amilasa pancreática para la óptima digestión del almidón, de manera que el almidón no digerido puede pasar hacia el ciego y colon (Scapinello *et al.*, 1999; Gidenne y Fortun-Lamothe, 2002). La sobrecarga de almidón puede desequilibrar la comunidad microbiana del ciego y causar disbiosis, con la pérdida de protozoarios, bacilos metacromáticos grandes y otros microorganismos Gram-positivos, y el aumento de organismos

Gram-negativos responsables de los trastornos digestivos (Lelkes y Chang, 1987; Laparra y Sanz, 2010; Combes *et al.*, 2013). Un excesivo flujo de almidón que ingresa al ciego también puede ser desfavorable para la flora fibrolítica en fase de desarrollo (Gidenne *et al.*, 2000; Bennegadi *et al.*, 2003; Combes *et al.*, 2013). Así, el almidón que no se digiere y absorbe en íleon puede pasar al ciego como sustrato para la fermentación bacteriana y promover la proliferación de bacterias cecales potencialmente patógenas, y desencadenar enteropatía y diarrea fatal, sobre todo en conejos jóvenes recién destetados que consumen poco heno y pasan estrés por el cambio de dieta o ambiente (Cheeke y Patton, 1980; Espinosa *et al.*, 2020).

Sin embargo, los estudios de alimentación con dietas que contienen diferentes relaciones de almidón y fibra en conejos en crecimiento han demostrado lo contrario. Con dietas de alto contenido de almidón ($\geq 30\%$) la digestibilidad ileal del almidón fue $>93\%$ (Gidenne *et al.*, 2000; Gidenne *et al.*, 2020). Es más, el nivel de fibra y no el nivel de almidón en la dieta, juega un papel en la ocurrencia de los problemas digestivos en conejos (Gidenne *et al.*, 2004; Gidenne *et al.*, 2012). Así mismo, la fuente de almidón (trigo, cebada o maíz) no afecta las características de la fermentación cecal (Gidenne *et al.*, 2005a) ni la tasa de mortalidad entre el destete y los 49 días de edad, y durante el periodo de acabado (Gidenne *et al.*, 2005b); ya que la relación fibra y almidón es la responsable de la composición de la microbiota cecal en conejos en crecimiento (Romero *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2015).

Las dietas bajas en fibra ($<10\%$) resultan en una mayor incidencia de la enteropatía. La deficiencia de fibra empeora claramente el estado de salud del conejo, ocasionando morbilidad después del destete, y siendo la diarrea el signo más común del problema (Bennegadi *et al.*, 2001). El conejo joven de 7 semanas de edad digiere incompletamente el almidón en el intestino delgado (Gidenne *et*

al., 2004), siendo esencial la provisión de suficiente fibra dietaria para prevenir los problemas digestivos, incluida la fibra de baja digestibilidad (lignocelulosa) y la fibra digestible (hemicelulosas y pectinas). A menudo se incorporan en la alimentación del conejo algunos subproductos agroindustriales, principalmente salvados y pulpas, porque son ricos en fibra, con efectos benéficos en la salud intestinal (Gidenne, 2003; Gidenne, *et al.*, 2012).

De acuerdo a De Blas y Mateos (2010), la cantidad de PB recomendable por kg de pienso en conejos de engorde es de 156- 177 g. También varios autores mencionan que si aumenta el contenido en PB puede aumentar el riesgo de problemas digestivos, por un posible aumento del flujo de nitrógeno al ciego que favorecería la proliferación de bacterias proteolíticas potencialmente patógenas, como *Clostridium* y *Escherichia coli* (Carabaño *et al.*, 2008; De Blas y Mateos, 2010; Combes *et al.*, 2011; Carding *et al.*, 2015).

En diferentes investigaciones se observaron que al disminuir el contenido proteico se redujo la mortalidad por Enteropatía Epizoótica del Conejo (EEC), tanto en el postdestete como en el conjunto del cebo, con o sin antibióticos incluso detectándose menor cantidad de *Clostridium perfringens* en la digesta del ileon (Chamorro *et al.*, 2007; Gidenne *et al.*, 2013).

Varios autores (Fraga *et al.*, 2011; El Abed *et al.*, 2011; Caisîn *et al.*, 2020) observan que la sustitución de almidón por fibra soluble o fibra insoluble, o la reducción del contenido en proteína reducían el riesgo de trastornos digestivos en conejos de engorde de una forma aditiva, remarcando la importancia de la adecuada formulación de los piensos para estos tres componentes a la hora de conseguir piensos seguros.

1.1.2. La confusa etiología de la enteropatía epizoótica

La causa de la enteropatía epizoótica, conocida también como enteritis mucoide o enteropatía mucoide en conejos, no está aún bien definida, no se sabe por qué algunos conejos desarrollan esta enfermedad (Puón-Peláez *et al.*, 2018). Se han sugerido múltiples factores que contribuyen al mayor o menor desarrollo de la enfermedad, tales como dieta, el estrés, la microbiota cecal o los patógenos, aunque lo más probable es que todos ellos desempeñen algún papel. Ninguna bacteria sola ha sido implicada como agente causante. Sin embargo, se cree que el incremento del número de coliformes y una toxina como secretágeno están involucrados en la enfermedad.

Algunos sugieren que la EEC es una enteropatía causada por organismos toxigénicos del género *Clostridium*, frecuente en conejos de cría intensiva.

Los más susceptibles a esta condición son los conejos jóvenes en edad de destete de cinco a ocho semanas debido a que tienen una incompleta colonización entérica por bacterias comensales, lo cual permite la rápida colonización por *Clostridium spiriforme* del ambiente. Esto resulta en profusa diarrea acuosa o mucoide, con colonización cecal, un trastorno agudo y severo donde la muerte ocurre usualmente dentro de uno a tres días (Licois *et al.*, 2005; Hamid *et al.*, 2019), con una expansión de una nueva especie de *Clostridium* (*Clostridium cuniculi*) el día del inicio de EEC, descartándose la disbiosis como desencadenante inicial de la enfermedad (Djukovic *et al.*, 2018). El tratamiento agresivo de la coccidiosis en conejos jóvenes de cola blanca (*Sylvilagus spp.*) disminuye en gran medida la mortalidad por enfermedades gastrointestinales por todas las causas, sugiriendo que la puerta de entrada de la EEC puede ser la infección inicial por coccidias (Paul y Friend, 2021).

La coinfección por coccidias (*Eimeria media*, *Eimeria magna*), incluso en una dosis baja de exposición, agrava los síntomas causados por enterocolitis epizoótica del conejo, con una mayor mortalidad y un bajo crecimiento, y que el uso de un anticoccidial en el alimento (Cycostat 66G) disminuyó la mortalidad final y la pérdida en la ganancia promedio de peso corporal (Coudert *et al.*, 2000).

Los estudios de transmisión experimental de la enteropatía han identificado en la mayoría de los inóculos examinados la presencia de *Clostridium perfringens*; sin embargo, su rol ha sido declarado cuestionable (Licois *et al.*, 2005; Solans *et al.*, 2019). Los exámenes microbiológicos de los contenidos cecales de conejos muertos de enteropatía epizoótica, en forma espontánea o experimental, han aislado al *C. perfringens* y a la *Escherichia coli* no enteropatógena (Marlier *et al.*, 2006; Puón-Peláez *et al.*, 2020).

Algunos estudios han encontrado una alta asociación con la toxina tipo C y D del *C. perfringens* y su β -toxina como los agentes de la enfermedad (Romero *et al.*, 2011), indicando que la β -toxina podría ser la responsable de los efectos adversos en el colon (García *et al.*, 2014), mientras que la combinación de los efectos sinérgicos de la β -toxina y la enterotoxina de *C. perfringens* son las responsables de los daños en las asas del intestino delgado (Ma *et al.*, 2014). La β -toxina actúa como mediador clave de la enterocolitis necrosante y la enterotoxemia (Nagahama *et al.*, 2015).

Al margen de las distintas posiciones, el riesgo de incidencia de la enteropatía del conejo puede ser, al menos parcialmente, modulado por el tipo de dieta, como consecuencia de una deficiencia en la cantidad y calidad de fibra dietaria y/o un mayor ingreso de almidón y proteína en el ciego que puede alterar la actividad microbiana cecal y favorecer el riesgo de disbiosis en mayor o menor medida (Laurent-Bennegadi *et al.*, 2013). La cantidad y calidad de fibra, de hecho, es con frecuencia considerada como el factor más importante para modular

la comunidad microbiana cecal y la salud intestinal en conejos jóvenes (Bennegadi *et al.*, 2003; Gidenne, 2003; Puón-Peláez *et al.*, 2022).

1.1.3. Fibra dietaria en la salud digestiva del conejo

La fisiología digestiva del conejo exige que toda dieta destinada a su alimentación debe contener un mínimo de fibra dietética para prevenir problemas digestivos (Gidenne *et al.*, 2012). El conejo, como animal herbívoro, es alimentado con dietas que contienen al menos entre 40-50% de fibra, cuyo efecto se manifiesta en el consumo, la tasa de paso y su papel como sustrato para la microbiota cecal (Combes *et al.*, 2013), siendo importante para la funcionalidad de la mucosa intestinal, el rendimiento y la salud digestiva (Gidenne, 2015).

La fibra es muy importante para la salud digestiva en los animales monogástricos con fermentación colico-cecal, tales como caballos, conejos y otros (Gidenne y Jhel, 1996; Garcia *et al.*, 2000), para promover la motilidad intestinal y la fermentación cecal (Gidenne *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2022), por lo que las dietas de conejos deben contener un mínimo de 34% de FDN para garantizar la salud cecal (De Blas y Mateos, 2010; Mora *et al.*, 2022), porque las dietas bajas en fibra predisponen a la estasis gastrointestinal.

El aumento de FND en la dieta se manifiesta con un aumento en el consumo de alimento, la tasa de conversión alimenticia y la diversidad de la microbiota, con mayor desarrollo de los géneros Proteobacteria y Firmicutes en dietas de alta fibra y Bacteroides en dietas de baja fibra, pero con una disminución en la ganancia de peso, mortalidad y concentración de NH₃-N, siendo la dieta de 350 g FND/kg la que mejor controla la microbiota cecal, previene el malestar gastrointestinal y exhibe un buen rendimiento productivo (Wu *et al.*, 2019).

Por otro lado, estudios experimentales han evidenciado que una dieta alta en fibra mejora la resistencia del conejo a la enteropatía, a pesar de estar expuesto

a una mayor actividad fermentativa y a un menor pH cecal (Gidenne y Lebas, 2005; Li *et al.*, 2022).

Dividir la fibra dietética total (FDT) en fibra dietética insoluble (FID) y fibra dietética soluble (FDS) es una distinción analítica, y un trabajo reciente encuentra que la ingesta de FID está relacionada con una amplia gama de beneficios para la salud más allá del aumento del peso de las heces (Timm *et al.*, 2023).

La fibra dietaria es un grupo diverso de compuestos resistentes a la digestión por enzimas digestivas en el intestino delgado, que incluye a polisacáridos sin almidón y otros componentes como lignina, celulosa, almidón, dextrina, inulina, pectina, betaglucano y oligosacáridos, que desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la salud gastrointestinal (Stojanovska *et al.*, 2023). La fibra dietaria total (FDT) es la suma de los carbohidratos que no son digeridos por las enzimas de los mamíferos en el intestino delgado, pero pueden ser parcialmente o completamente fermentados en el intestino grueso (Dhingra *et al.*, 2012; Combes *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2023). En términos analíticos, FDT se puede dividir en fibra soluble y fibra insoluble (Prosky *et al.*, 1988; Timm *et al.*, 2023); Li *et al.*, 2023). La fibra soluble incluye los polisacáridos no amiláceos que son solubles en detergente neutro o tampones, y por tanto no forman parte de la fibra neutro detergente (FND) o fibra dietaria insoluble. Estos incluyen a las sustancias pécticas, mezclas de β -glucanos, fructanos de cadena más larga y otros carbohidratos de solubilidad y digestibilidad similar, mientras que la fibra insoluble corresponde a la FND, conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina (Hall, 2003; Gidenne *et al.*, 2020).

Ambos tipos de fibra tienen importancia en la salud intestinal del conejo (Alvarez *et al.*, 2007; Gidenne *et al.*, 2020). Sin embargo, la fibra dietaria soluble es la más importante en la regulación de la tasa de pasaje y el crecimiento

microbiano en el tracto digestivo (García *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2023), estando bastante relacionada con la incidencia de trastornos digestivos en conejos (Gidenne, 2003; Gidenne *et al.*, 2020).

Algunas investigaciones indican que una formulación adecuada de los piensos, con mayor inclusión de fibras podría ayudar a limitar la incidencia de enteropatía epizoótica en conejos jóvenes (Carabaño *et al.*, 2008; Gidenne, 2015). Un buen equilibrio entre la fibra de baja digestibilidad (fibra insoluble) y la fibra de alta digestibilidad (fibra soluble) optimiza la salud intestinal. En estudios realizados en conejos se mostró una alta correlación entre el contenido en una fracción de la pared celular, concretamente de la fibra detergente ácido (FDA), con la mortalidad durante el período de crecimiento (Maitre *et al.*, 1990; Mora *et al.*, 2022; Al-Homidan *et al.*, 2023; Abdel-Kafy *et al.*, 2023). Asimismo, el aumento en el nivel de fibra soluble en detergente neutro (FSDN), de 79 a 131 g/Kg MS, mejoró la digestibilidad, aumentó el peso del contenido cecal, incluyó la microbiota cecal, y el rendimiento del crecimiento de los conejos, reduciendo la mortalidad y mejorando la eficiencia alimenticia (Gómez-Conde *et al.*, 2009; North *et al.*, 2019).

Otros estudios han mostrado que la fermentación cecal depende en gran medida del tipo de sustrato disponible para las bacterias. La fibra dietaria tiene un efecto directo sobre la eficiencia del tracto digestivo del conejo, que se manifiesta por una disminución en la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica conforme se incrementa FND, siendo el efecto independiente del contenido en fibra soluble en detergente neutro (FSDN); mientras que la fibra soluble mejora la actividad fermentativa y microbiana cecal, incrementando la digestibilidad de FND (Rodríguez-Romero *et al.*, 2011; Arce *et al.*, 2022). Por ello, los conejos alimentados con piensos con pulpa de remolacha, con un alto contenido en fibra soluble, producen una mayor concentración de ácidos grasos

volátiles (89.6 vs. 67.5 mmol/L) y tienen menor valor de pH (5.7 vs. 6.2) en el ciego con relación a los alimentados con heno de alfalfa, más rica en fibra insoluble (Belenguer *et al.*, 2012; Purwin *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2022).

Un mínimo de 34% de FND es recomendado para minimizar la acumulación de digesta en el ciego y maximizar el rendimiento durante todo el período de engorde (De Blas y Mateos, 2010; Gidenne *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022). La deficiencia de fibra deteriora en gran medida la salud digestiva del conejo en crecimiento (Gidenne *et al.*, 2012; Arce *et al.*, 2022). El aumento de los niveles de fibra soluble dietética mejora la integridad y funcionalidad de la mucosa (Gomez-Conde *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2022). Se recomienda un suministro de 12 a 14% de fibra soluble en dietas de conejos después del destete y durante el crecimiento, que contengan alrededor de 34% FND y 19% FAD.

A modo de resumen, las Figuras 1.1.1 y 1.1.2 ilustran los efectos de la fibra con relación al almidón sobre la función del ciego en conejos y los cambios cecales durante los procesos diarreicos en gazapos de engorde (Gidenne, 1996).

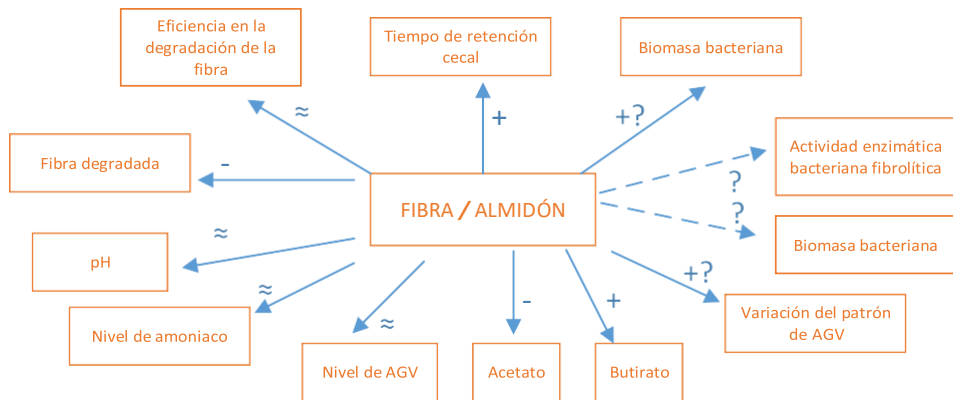


Figura 1.1.1. Efecto de la relación fibra/almidón dietaria sobre distintos parámetros cecales de conejos en crecimiento sanos (+, aumenta; -, disminuye; ≈, no varía; ?, insuficiente información (Gidenne, 1996).

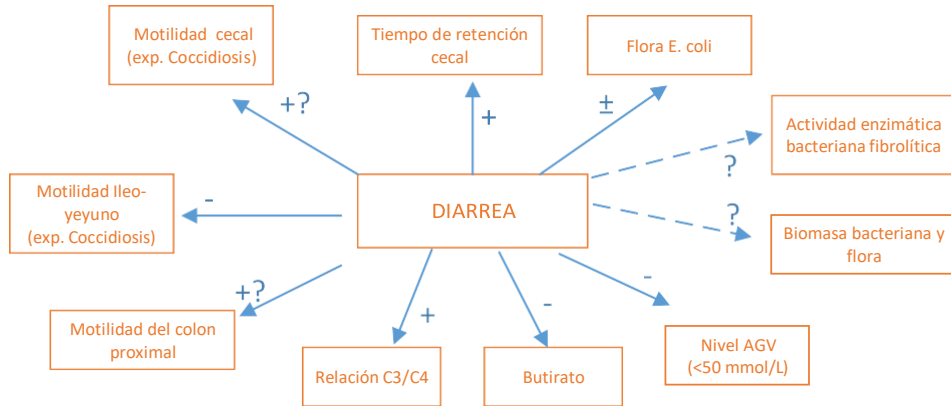


Figura 1.1.2. Cambios de distintos parámetros cecales de conejos en crecimiento con problemas digestivos (+, aumenta; -, disminuye; ?, insuficiente información) (Gidenne, 1996)

1.1.4. La pulpa de remolacha como fuente de fibra soluble

El desarrollo y la composición de la microbiota cecal en conejos están influenciados principalmente por la edad y por los factores nutricionales (Bivolarski *et al.*, 2011; Kurchaeva *et al.*, 2019; Abdel-Kafy *et al.*, 2023), ya que la microbiota se desarrolla progresivamente desde una comunidad sencilla e inestable en el conejo neonato, hasta una comunidad compleja en el conejo subadulto (Combes *et al.*, 2011). Por ello, es necesario investigar las distintas fuentes de fibra y su efecto sobre la microbiota y la salud intestinal a fin de reducir el uso de antimicrobianos (Trocino *et al.*, 2013; Jenckel *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022).

La remolacha es uno de los cultivos más importantes en la industria de extracción del azúcar en España, y la pulpa de remolacha, de expendio en forma granulada, se ha convertido en uno de los subproductos de mayor valor en las estrategias dietarias de control de la EEC. Algunos trabajos muestran que su

inclusión al 12-14% en la dieta ayuda a disminuir la mortalidad. Su alto contenido en fibra soluble y fibra insoluble y su alta fermentabilidad mejora la integridad y funcionalidad de la mucosa intestinal, cambia la microbiota intestinal y mejora la función de la barrera intestinal (Gómez-Conde *et al.*, 2007; Trocino *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Kurchaeva *et al.*, 2019; Arce *et al.*, 2022).

La pulpa de remolacha es uno de los subproductos que se genera durante el proceso de extracción del azúcar de la remolacha, tal como se muestra en la Figura 1.3. Se comercializa en forma húmeda, ensilada y deshidratada (granulada o no), y puede incluir proporciones variables de otros subproductos derivados del proceso, tales como melaza o vinaza, lo que puede alterar su valor nutritivo para los animales (De Blas *et al.*, 2003; Kurchaeva *et al.*, 2019).

La pulpa de remolacha es una materia prima que ha sido utilizada de forma habitual en la ración de los animales rumiantes (Fernández *et al.*, 2007); la pulpa fresca o húmeda tiene un elevado contenido de agua (90%), lo que plantea graves problemas de conservación, ya que es fácilmente fermentable. Por ello, uno de los tratamientos más comunes es realizar un prensado de la pulpa, hasta alcanzar un menor contenido de agua (menos del 80%) para su consumo como producto fresco. Con todo, el empleo de la pulpa de remolacha en su forma húmeda (o ensilada) queda restringido a las raciones de rumiantes, mientras que para poder ser incluida en los piensos granulados es necesario proceder a su deshidratación hasta valores de contenido en humedad menores del 15%, presentándose habitualmente en el mercado en forma de escamas o pellets gruesos.

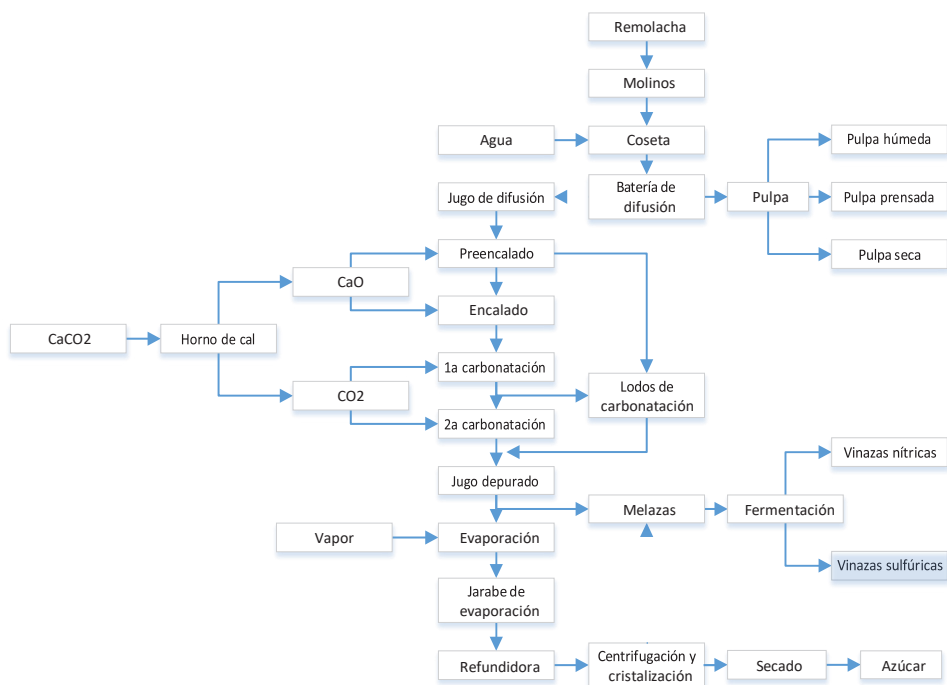


Figura 1.1.3. Esquema representativo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la remolacha y obtención de los distintos subproductos, incluida la pulpa de remolacha (Fernández *et al.*, 2007).

En la actualidad las vinazas que se generan en las plantas azucareras tienen una escasa comercialización, por lo que la mayor parte de la pulpa que se comercializa incluye proporciones variables de vinaza (Fernández *et al.*, 2006; Arce *et al.*, 2022) y, en otras ocasiones también de melazas, por lo que su inclusión determina cambios en la composición química de la pulpa que, lógicamente, podrían afectar su valor nutritivo.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, la pulpa de remolacha se ha convertido en una de las materias primas habituales en la fabricación de piensos para conejos porque es un ingrediente rico en fracciones fibrosas (Acedo-Rico, 2006) digeribles por el conejo, por lo que su incorporación a los piensos

proporciona un mayor grado de seguridad digestiva (Gidenne *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2019), disminuyendo la morbilidad y la mortalidad durante el cebo. Los mayores problemas en salud digestiva, se presentan en conejos posdestete, justo cuando se espera maximizar el crecimiento y minimizar los trastornos digestivos, de manera que las necesidades de fibra de los conejos obligan a considerar un intervalo óptimo en la formulación de piensos para esta especie animal (Carabaño *et al.*, 1997; Arce *et al.*, 2022).

Además de la pulpa de remolacha, existen otras fuentes de fibra soluble, tales como la pulpa de manzana, de achicoria o la pulpa de cítricos, pero con una producción menor que la pulpa de remolacha. La pulpa de manzana resulta de la fabricación de sidra y zumo de manzana y es el residuo formado por el pericarpio, el mesocarpio del fruto exprimido, las semillas y los rabos del fruto (Calsamiglia *et al.*, 2004). La pulpa de achicoria (*Cichorium intybus* L.) se obtiene del proceso de producción de inulina de las raíces de la planta y su contenido de inulina y oligosacáridos promueve el crecimiento de bacterias beneficiosas, mejorando la actividad fermentativa cecal, sin disminuir el valor nutricional de la dieta, el rendimiento de los animales, ni la calidad de la canal (Volek y Marounek, 2011; Benlemlih *et al.*, 2023). La pulpa de achicoria se puede incluir hasta el 20%, obteniéndose respuestas similares a las obtenidas con pulpa de remolacha (Maertens *et al.*, 2014). La pulpa de cítricos, sobre todo la pulpa de la naranja dulce (*Citrus sinensis*), se pueden utilizar como sustituto de cereales en raciones de conejos en crecimiento hasta un nivel de 20% de sustitución (Hon *et al.*, 2009).

1.1.5. La composición química de la pulpa de remolacha

La pulpa de remolacha azucarera, desde los primeros estudios, ha sido caracterizada como un alimento de alto contenido de carbohidratos no amiláceos que se encuentran en su mayor parte en forma de pectosa, cuya fibra bruta

(20.3%) y extractivos libre de nitrógeno (65.7%) juntos constituyen más de las cuatro quintas partes de la materia seca, siendo deficiente en proteína, cenizas y grasa (Martínez y Fernández, 1980)

Los distintos estudios han encontrado en algunos casos que la composición química de las pulpas secadas al sol es similar a las pulpas húmedas (Fadel *et al.*, 2000), pero en otros se constata una alta variabilidad, siendo las fracciones FND y FAD las más variables (Mojtahedi y Mesgaran, 2009). La composición promedio es de 25.3% de fibra soluble, 54.2% de fibra insoluble y 79.5% de fibra dietaria total (Zhang *et al.*, 2013). La Tabla 1.1.1 resume la composición química de las pulpas deshidratadas de remolacha, organizada a partir de diferentes fuentes, donde el contenido de las fracciones de fibra varía ampliamente con promedios de $45.8 \pm 7.9\%$ para FND y $22.8 \pm 3.4\%$ para FAD. Esta información no reporta las fracciones de fibra soluble.

Tabla 1.1.1. Composición química de las pulpas deshidratadas de remolacha (%).

Fuente	MS	CE	PB	EE	NDF	ADF	ADL
De Blas y Carabaño (1995)	90.0	1.7	9.3	0.9	51.5	27.0	1.9
De Blas y Villamide (1990)	90.0	4.4	7.4	1.1	55.8	26.9	1.5
Fernández---Carmona <i>et al.</i> (1996)	90.0	6.6	8.9	1.0	43.7	23.3	0.9
Volek <i>et al.</i> (2003)	92.7	6.4	8.1	0.2	55.1	25.8	3.4
De Blas <i>et al.</i> (2010)	89.9	7.4	10.3	0.9	48.1	25.7	1.9
Sauvant <i>et al.</i> (2004) PR sin melaza	89.1	6.8	8.1	0.9	40.5	20.6	1.9
Sauvant <i>et al.</i> (2004) PR con melaza	88.3	6.3	8.8	0.6	40.1	20.4	1.0
NRC (2000)	91.0	6.8	10.8	0.7	49.0	30.2	2.7
Villamide et al (2010)	90.0	8.0	10.0	1.1	47.6	23.5	2.0
Pereira y González DBP1 (2004)		11.6	13.2	0.9	34.0	16.2	2.1
Pereira y González DBP2 (2004)		8.8	11.7	0.9	44.8	19.8	2.0
Pereira y González DBP3 (2004)		6.6	11.8	0.9	48.3	25.4	2.3
Pereira y González DBP4 (2004)		6.4	8.9	0.9	49.7	23.8	6.2
Pereira y González DBP5 (2004)		6.1	7.5	0.9	50.3	25.8	3.9
Pereira y González DBP6 (2004)		6.4	8.2	0.9	50.6	24.2	2.5
Pereira y González DBP7 (2004)		5.8	9.7	0.9	52.9	24.5	2.4
Pereira y González DBP8 (2004)		4.9	8.8	0.9	56.7	26.5	2.8
Pereira y González DBP9 (2004)		4.8	8.3	0.9	57.0	21.0	2.6
Pereira y González DBP10 (2004)		4.9	9.3	0.9	64.0	26.9	3.2
DePeters <i>et al.</i> , DBP1 (2000)		10.9	13.3	0.4	37.4	20.4	2.2
DePeters <i>et al.</i> , DBP2 (2000)		11.5	14.5	1.0	41.6	21.3	4.4
DePeters <i>et al.</i> , DBP3 (2000)		11.2	13.5	1.2	44.0	21.9	4.0
DePeters <i>et al.</i> , DBP4 (2000)		13.2	15.6	0.3	37.4	21.7	4.5
DePeters <i>et al.</i> , DBP5 (2000)		13.1	15.2	0.4	37.6	18.3	5.2
DePeters <i>et al.</i> , DBP6 (2000)		10.3	12.3	0.4	40.2	22.0	3.5
DePeters <i>et al.</i> , DBP7 (2000)		12.3	13.4	0.7	32.2	16.7	3.0
DePeters <i>et al.</i> , DBP8 (2000)		13.2	15.4	0.7	36.2	17.8	4.4
DePeters <i>et al.</i> , DBP9 (2000)		12.7	14.6	0.9	39.7	21.7	4.1
DePeters <i>et al.</i> , DBP10 (2000)		13.0	14.1	0.7	40.9	21.1	4.9
Promedio	90.1	8.3	11.1	0.8	45.8	22.8	3.0
Desviación estándar	1.2	3.3	2.7	0.2	7.9	3.4	1.3
Coficiente de variabilidad	1.4	39.4	24.3	31.2	17.2	14.9	43.3

MS, Materia Seca; CE, Cenizas; PB, Proteína Bruta; EE, Extracto Etéreo; NDF, Fibra Detergente Neutro; ADF, Fibra Detergente Acido; ADL, Lignina Detergente Acido. PR, pulpa de remolacha. DBP, Dehydrated beet pulp.

1.1.6. Valor nutritivo de la pulpa de remolacha

El empleo potencial de materias primas que permitan cumplir con los requerimientos nutricionales de fibra de los conejos es muy amplio, en función de la oferta existente de fuentes de fibra. A estos factores hay que añadir que

muchas de estas materias primas son muy variables en su composición química y están aún en valoración (Gidenne *et al.*, 2020; Kurchaeva *et al.*, 2019; El-Tahan *et al.*, 2019). Las fuentes de fibra más utilizadas por orden de relevancia cuantitativa son el heno de alfalfa, los salvados de trigo, la harina de girasol y la pulpa de remolacha.

La pulpa de remolacha es rica en celulosa (20-24%), hemicelulosa (25-36%), pectina (20-25%) y pobre en lignina (1-2%) y proteína (7-8%) (Foster *et al.*, 2001), de uso tradicional como fuente de energía en la alimentación del ganado, principalmente rumiantes y caballos, y una importante cantidad en la alimentación de monogástricos, incluidos los conejos (Boucque *et al.*, 1976; García *et al.*, 1993; Omer *et al.*, 2013); aunque su uso ha girado como fuente barata de carbohidratos en la industria del bioetanol (Hinková y Bubník, 2001; Vučurović *et al.*, 2022).

La utilización de estos subproductos locales (salvados, pulpas, pajas y otros) en la alimentación animal es una oportunidad sostenible de economía circular. Si es verdad que la única forma realista de aumentar la utilización de estos subproductos locales es a través de su inclusión en las dietas comerciales en forma granulada, no obstante, esta práctica tiene sus desventajas reales ya que la composición química de estos alimentos fibrosos, en la mayoría de los casos, es muy variable y los datos de su valor nutritivo son escasos y varían de acuerdo al método de valoración utilizado en su determinación (Carabaño y Fraga, 1992).

A partir de una serie de datos recopilados, Besancenot (1983) resumió el valor nutricional de la pulpa de remolacha en sus diferentes formas de presentación (Tabla 1.1.2).

Tabla 1.1.2. Valor nutricional de la pulpa de remolacha (Besancenot 1983).

Composición	Unidad	Fresca	Deshidratada	Deshidratada + Melaza	Ensilada
Materia seca	%	24.1	89.2	88.3	23.9
Proteína cruda	% MS	8.6	9.3	9.9	9.5
Fibra bruta	% MS	20.8	19.9	19.4	21.4
FND	% MS	49.3	48.1	47.5	50.0
FAD	% MS	24.8	24.1	23.8	25.2
Lignina	% MS	1.8	2.4	2.7	16.0
Extracto etéreo	% MS	0.5	0.9	0.7	1.2
Ceniza	% MS	6.8	7.7	7.0	8.4
Almidón	% MS		0.5	4.3	
Azúcar total	% MS	5.1	7.6	10.1	
Energía bruta	MJ/kg MS	17.1	17.0	17.1	17.0
Calcio	g/kg MS	12.8	15.5	10.0	14.7
Fósforo	g/kg MS	1.1	1.0	0.9	1.0
Potasio	g/kg MS	4.2	4.5	12.9	3.7
Sodio	g/kg MS	0.5	0.7	2.7	0.3
Magnesio	g/kg MS	15.0	1.9	1.4	15.0
Manganeso	mg/kg MS	69.0	79	82.0	54.0
Zinc	mg/kg MS	17.0	20	15.0	12.0
Cobre	mg/kg MS	4.0	5	4.0	4.0
Hierro	mg/kg MS	483.0	625	773.0	553.0
Alanina	% proteína	5.0	5.0	4.3	
Arginina	% proteína	4.3	4.5	3.0	
Ácido aspártico	% proteína	8.0	7.4	6.6	
Cistina	% proteína	1.3	1.4	0.9	
Ácido glutámico	% proteína	9.9	9.7	16.7	
Glicina	% proteína	4.5	4.3	3.6	
Histidina	% proteína	3.5	3.0	2.0	
Isoleucina	% proteína	3.9	4.0	3.4	
Leucina	% proteína	65.0	6.4	5.1	
Lisina	% proteína	7.5	6.2	4.3	
Metionina	% proteína	1.9	1.4	0.9	
Fenilalanina	% proteína	4.1	3.8	3.4	
Prolina	% proteína	4.7	4.5	3.3	
Serina	% proteína	5.4	5.3	4.2	
Treonina	% proteína	4.9	4.5	3.2	
Triptófano	% proteína	1.1	1.0		
Tirosina	% proteína	4.8	4.8	4.3	
Valina	% proteína	6.2	6.5	5.0	
ED, cerdos	%		58.8		
ED, conejos	%		73.9		
ED, conejos	MJ/kg MS		12.6		
EM, en conejos	MJ/kg MS		12.2		
N digestible, en conejos	%		59.2		

FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; ED: energía digestible; EM energía metabolizable; N: nitrógeno. Feedipedia-Animal Feed Resources Information System-INRA CIRAD AFZ and FAO© 2012-2015.

<http://www.feedipedia.org/node/11480> <http://www.feedipedia.org/node/11838>

<http://www.feedipedia.org/node/11839> <http://www.feedipedia.org/node/11841>

Kobayashi *et al.* (1993) fraccionaron los polisacáridos de la pulpa de remolacha en pectina, hemicelulosa y celulosa. Las fracciones I-III de la pectina contienen arabinosa, galactosa y gran cantidad de ácido urónico; las fracciones I y II de la hemicelulosa, contenían xilosa y glucosa, además de otros azúcares; y la fracción celulosa, estaba compuesta por un 57% de glucosa, además de la arabinosa (10%) y ácidos urónicos (31%). Los ácidos urónicos estuvieron distribuidos en todas las fracciones.

Aunque la fibra es una parte fundamental de la dieta desde el punto de vista de la salud intestinal de los conejos, las características digestivas del conejo se pueden afectar por el nivel, tamaño de partícula y fuente de fibra. Cuando aumentamos el nivel de fibra de la dieta observamos una reducción de la digestibilidad, sin variaciones en la tasa de pasaje (Gidenne, 1992; Gidenne *et al.*, 2020). La reducción del tamaño de partícula disminuye la digestibilidad de la fibra (excepto para las sustancias pécticas) e incrementa el tiempo de retención (Gidenne *et al.*, 1991; Gidenne *et al.*, 2020). El incremento en la proporción de partículas finas y la disminución en la proporción de partículas grandes, incrementan el tiempo de retención cecal y la eficiencia de la digestión de la fibra, pero disminuye el consumo de materia seca (García *et al.*, 1999; Mora *et al.*, 2022).

Por otra parte, el nivel de fibra dietaria guarda una relación directa con el consumo y la ganancia de peso. Sin embargo, en el nivel más alto (14.5%) puede causar daño en la mucosa del ciego (Gidenne, 2003; Martínez-Vallespín *et al.*, 2013; Gidenne *et al.*, 2020).

De Blas *et al.* (2003) manifiestan que la digestibilidad de la fibra de la pulpa de remolacha alcanza el 75%, gracias a su fermentación posterior, pero de modo diferente a lo que ocurre en otras especies animales como rumiantes o

equinos donde su digestibilidad puede llegar al 95% al disponer de un mayor tiempo de fermentación anterior. Por ello, se recomienda incluir en un nivel máximo del 30% a fin de proteger la salud digestiva y garantizar un buen rendimiento animal (García *et al.*, 1993). Cuando se adiciona vinaza a la pulpa de remolacha, ésta modifica la cinética de degradación de la PB, aumentando la fracción inmediatamente degradable y disminuyendo la potencialmente degradable (Fernández *et al.*, 2006). Por otro lado, Peeters *et al.*, (1995) indicaron que existen indicios de que su inclusión en la dieta también puede favorecer la cantidad de glucosa producida en el ciego, posiblemente relacionado al almidón resistente.

El almidón resistente es aquella fracción del almidón dietario que escapa la digestión en el intestino delgado y pasa al intestino grueso donde es fermentado por la microbiota (Englyst *et al.*, 1992), dando origen a la producción de ácidos grasos de cadena corta (Higgins, 2004; Gidenne *et al.*, 2020; Mora *et al.*, 2020). En el caso humano, el almidón resistente es de mucha importancia para mejorar la salud puesto que sirve como fuente de fibra dietaria, particularmente en individuos adultos (Sajlata *et al.*, 2006; Birt *et al.*, 2013; Espinosa *et al.*, 2020). En cambio, en conejos esta fracción del almidón se puede considerar como sustrato para la fermentación microbiana y fuente adicional de energía. Dado que el primer paso de la fermentación del almidón implica la hidrólisis por amilasas microbianas en oligosacáridos y glucosa (Kotarski *et al.*, 1992; Dobranowski y Stintzi, 2021), es razonable asumir que existe una presencia transitoria de glucosa en el contenido cecal.

Son pocas las fuentes que aporten valores energéticos para la pulpa de remolacha en conejos. De Blas y Carabaño (1996) indican que el contenido de energía digestible de la pulpa de remolacha azucarera depende del tipo de dieta basal y el nivel de inclusión en la dieta, con un valor de 10.5 MJ/Kg de MS para

un nivel de 15% de inclusión en reemplazo de granos de cereales. Este valor puede ser mayor si el nivel de inclusión en la dieta supera 30%. No obstante, este nivel es poco práctico debido a que puede deprimir el consumo y el rendimiento.

Finalmente, el contenido en proteína de la pulpa de remolacha es bajo (sobre el 10%), la mayoría de ella en forma de proteína verdadera, ya que la mayoría de las amidas son extraídas durante el proceso de fabricación del azúcar. Sin embargo, la mayoría de esta proteína se encuentra ligada a fibra (50% a la FND y 10% a la FAD) y el proceso de deshidratación a altas temperaturas también puede afectar a esta fracción, estando poco disponible para los animales. De Blas *et al.* (2003) proponen que el coeficiente de digestibilidad de la proteína de la pulpa granulada de remolacha es del 50%.

1.2. REFERENCIAS

- Abdel-Kafy, E. S. M., Kamel, K. I., Severgnini, M., Morsy, S. H., Cremonesi, P., Ghoneim, S. S., ... & Shabaan, H. M. (2023). Diversity and Co-Occurrence Pattern Analysis of Cecal and Jejunal Microbiota in Two Rabbit Breeds. *Animals*, 13(14), 2294.
- Acedo-Rico J. 2006. Problemática de utilización de materias primas fibrosas en fábricas de piensos y plantas de mezclas, influencia sobre la tecnología de fabricación a emplear. XXII Curso de Especialización FEDNA. Barcelona. 67-83.
- Al-Homidan, I., Fathi, M., Abdelsalam, M., Ebeid, T., Abou-Emera, O., Mostafa, M., ... & Shehab-El-Deen, M. (2022). Effect of propolis supplementation and breed on growth performance, immunity, blood parameters and cecal microbiota in growing rabbits. *Animal Bioscience*, 35(10), 1606-1615.
- Alvarenga, I. C., Aldrich, C. G., & Kohles, M. (2017). The effect of feed form on diet digestibility and cecal parameters in rabbits. *Animals*, 7, 95.
- Alvarez, J. L., Marguenda I., García-Rebollar P., Carabaño R., De Blas C., Corujo A. and García-Ruiz A.I. 2007. Effects of type and level of fibre on digestive physiology and performance in reproducing and growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 15: 9-17.
- Arce, O., Alagón, G., Ródenas, L., Martínez-Paredes, E., Moya, V. J., Cervera, C., & Pascual, J. J. (2022). Effect of Dietary Level of Beet Pulp, with or without Molasses, on Health Status, Growth Performance, and Carcass and Digestive Tract Traits of Rabbits. *Animals*, 12(23), 3441.

- Bagóné Vántus, V., Kovács M., and Zsolnai A. 2014. The rabbit caecal microbiota: development, composition and its role in the prevention of digestive diseases – a review on recent literature in the light of molecular genetic methods. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 18: 55-65.
- Belenguer, A., Abecia L., Belanche A., Milne E., Balcells J., 2012. Effect of carbohydrate source on microbial nitrogen recycling in growing rabbits. *Livest. Sci.*, 150:94-101.
- Benlemlih, M., Barchan, A., Aarab, A., Bakkali, M., Arakrak, A., & Laglaoui, A. (2023). Influence of dietary supplementation of antibiotic and thyme on zootechnical parameters and caecal microflora of growing rabbit. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 13(3), 192-198.
- Bennegadi, N., Fonty G., Millet L., Gidenne T., and Licois D. 2003. Effects of age and dietary fibre level on caecal microbial communities of conventional and specific pathogen-free rabbits. *Microbiol. Ecol. Health Dis.*, 5: 23-32.
- Bennegadi, N., Gidenne T. and Licois D. 2001. Impact of fibre deficiency and sanitary status on non-specific enteropathy of the growing rabbit. *Anim. Res.*, 50: 401-413.
- Besancenot J. M. 1983. Chemical composition and feed value of beet pulp. Practical advice on the use of pressed pulp. Institut Technique de l'Élevage Bovin, Paris (France). *FAO*. 124:319-322.
- Birt D. F., Boylston T., Hendrich S, Jane J. L., Hollis J., Li L., McClelland J., Moore S., Phillips G. J., Rowling M., Schalinske K., Scott P. M., and Whitley E. M. 2013. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. *Adv. Nutr.* 4:587-601

- Blas E., Falcao L., Gidenne T., Scapinello C., Pinheiro V., Garcia A.I., Carabaño R., 2003. Interlaboratory study on ileal digestibility in rabbits: the effect of digesta collection time and a simplification of the procedure. WRSA, Universidad Politécnica de Valencia. *World Rabbit Sci.* 11: pp 101 -111.
- Boucque, Ch. V., Cottyn B.G., Aerts J.V. and Buysse F.X.. 1976. Dried sugar beet pulp as a high energy feed for beef cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1: 643-653.
- Calsamiglia S., Ferret A. and Bach A. 2004. Tablas FEDNA del valor nutritivo de los forrajes y sub productos fibrosos húmedos. Madrid. 70 pp.
- Carabaño R., and Fraga M.J., 1992. The use of local feeds for rabbits. *Options Méditerranéennes*, 17: 141–158.
- Carabaño R., De Blas C., García J., Nicodemus N. and Pérez de Ayala P. 1997. Necesidades de fibra. XIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid. 16 p.
- Carabaño, R., Badiola I., Chamorro S., García J., García-Ruiz A.I., García-Rebollar P., Gómez-Conde M.S., Gutiérrez I., Nicodemus N., Villamide M.J. and de Blas J.C. 2008. New trends in rabbit feeding: influence of nutrition on intestinal health. *Span. J. Agric. Res.*, 6: 15-25.
- Carding, S., Verbeke K., Vipond D.T., Corfe B.M., and Owen L.J. 2015. Dysbiosis of the gut microbiota in disease. *Microb. Ecol. Heal Dis.*, 26: 1-9.
- Cawthorn, D. M., and L. C. Hoffman. 2014. The role of traditional and non-traditional meat animals in feeding a growing and evolving world. *Anim. Front.*, 4(4): 6-12.

- Chamorro S., Gómez-Conde M.S., Pérez de Rozas A.M., Badiola I., Carabaño R., De Blas C. 2007. Effect on digestion and performance of dietary protein content and of increased substitution of lucerne hay with soya-bean protein concentrate in starter diets for young rabbits. *Animal* 1, 651-659
- Cheeke P. R., and Patton N. M. 1980. Carbohydrate overload of the hindgut. A probable cause of enteritis. *J. Appl. Rabbit Res.*, 3:20-23.
- Cobos, A., de la Hoz, L., Cambero, M. I., & Ordoñez, J. A. (1995). Sugar-beet pulp as an alternative ingredient of barley in rabbit diets and its effect on rabbit meat. *Meat Science*, 39, 113–121.
- Combes, S., Fortun-Lamothe, L., Cauquil, L., & Gidenne, T. (2013). Engineering the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *Animal*, 7(9), 1429-1439.
- Combes, S., Fortun-Lamothe, L., Cauquil, L., & Gidenne, T. (2013). Engineering the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *Animal*, 7(9), 1429–1439.
- Combes, S., Massip, K., Martin, O., Furbeyre, H., Cauquil, L., Pascal, G., Bouchez, O., Le Floc'h, N., Zemb, O., Oswald, I. P., & Gidenne, T. (2017). Impact of feed restriction & housing hygiene conditions on specific & inflammatory immune response, the cecal bacterial community & the survival of young rabbits. *Animal*, 11(5), 854–863.
- Combes, S., Michelland R.J., Monteils V., Cauquil L., Soulié V., Tran N.U., Gidenne T, and Fortun-Lamothe L. 2011. Postnatal development of the rabbit caecal microbiota composition and activity. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 77: 680-689.

- Coudert, P., Licois, D., & Zonnekeyn, V. (2000). Epizootic rabbit enterocolitis and coccidiosis: A criminal conspiracy. *Proceedings of the 7th World Rabbit Congress*, 8(Suppl 1), 215–218.
- Dalle Zotte, A. 2014. Rabbit farming for meat purposes. *Anim. Front.*, 4: 62-67.
- De Blas C. and Carabaño, R. 1996. A Review on the Energy value of Sugar Beet Pulp for Rabbits. *World Rabbit Sci.*, 4: 33-36.
- De Blas C. and Mateos G.G. 2010. Feed Formulation. In: De Blas C. and Wiseman, J. (Eds). *Nutrition of the Rabbit*. 2nd ed., CABI International. Wallingford: 222-232.
- De Blas, C., Mateos, G.G. and García-Rebollar, P. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Segunda edición. FEDNA, Madrid: 296-299.
- Dewree R., Licois D., Coudert P., Lassence C., Vindevogel H. and Marlier D. 2003. L'entéropathie épizootique du lapin (EEL): étude du rôle des infections par *Clostridium perfringens* dans l'étiopathogénie de ce syndrome. *Proc. 10èmes Journées de la Recherche Cunicole*. Paris : 251-254.
- Dhingra, D., Michael M., Rajput H. and Patil R.T., 2012. Dietary fibre in foods: a review. *J. Food Sci. Technol.*, 49: 255-266.
- Dip, R., Z. Nemet Z., B. Schiessl B., U. Klein U. and Strehlau G. 2015. Efficacy and tolerability of early administration of valnemulin hydrochloride premix on epizootic rabbit enteropathy. *Vet. J.*, 204: 309-314.
- Djukovic, A., Garcia-Garcera, M., Martínez-Paredes, E., Isaac, S., Artacho, A., Martínez, J., & Ubeda, C. (2018). Gut colonization by a novel *Clostridium* species is associated with the onset of epizootic rabbit enteropathy. *Veterinary Research*, 49, 123.

- Dobranowski, P. A., & Stintzi, A. (2021). Resistant starch, microbiome, and precision modulation. *Gut Microbes*, 13(1), 1926842.
- Duval, M. L. 1998. Développement de l'entérocologie en France. Proc. 7es Journées de la Recherche Cunicole, Paris : 1-8.
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Saxmose Nielsen, S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., ... & Winckler, C. (2020). Health and welfare of rabbits farmed in different production systems. *EFSA journal*, 18(1), e05944.
- El-Tahan, H. M., Sayed, M. A. M., Morsy, W. A., Ismail, F. S., & Elgogry, M. R. 2019. Influence of using sugarcane bagasse and sugar beet pulp with or without enzymes in rabbit diets: 1-on growth performance of growing rabbits. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 22(2 Special), 167-171.
- Englyst H. N., Kingman S. M., and Cummings J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 46:S33-S50.
- Espinosa, J., Ferreras, M. C., Benavides, J., Cuesta, N., Pérez, C., García Iglesias, M. J., ... & Pérez, V. (2020). Causes of mortality and disease in rabbits and hares: a retrospective study. *Animals*, 10(1), 158.
- European Commission 2017. A European One Health Action Plan against Antimicrobial Resistance (AMR). Disponible en: https://health.ec.europa.eu/system/files/2020-01/amr_2017_action-plan_0.pdf
- Fadel J. G., De Peters E.J., and Arosemena A.. 2000. Composition and digestibility of beet pulp with and without molasses and dried using three methods. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 85: 121-129.

- Falcão-e-Cunha, L., Castro-Solla L., Maertens L., Marounek M., Pinheiro V., Freire J., and Mourão J.L. 2007. Alternatives to antibiotic growth promoters in rabbit feeding: A review. *World Rabbit Sci.*, 15: 127-140.
- Farías-Kovac, C., Nicodemus, N., Delgado, R., Ocasio-Vega, C., Noboa, T., Abdelrasoul, R. A.-S., Carabaño, R., & García, J. (2020). Effect of dietary insoluble and soluble fibre on growth performance, digestibility, and nitrogen, energy, and mineral retention efficiency in growing rabbits. *Animals*, 10, 1346.
- Fernández B., López-Campos O, Bodas R., Giráldez F.J. and Mantecón A.R. 2007. Efecto de la adición de vinaza: Valor nutritivo de la pulpa de remolacha en ovino. *Albéitar*, 40-43.
- Fernández B., López-Campos O, Rodríguez A.B., Giráldez F.J. and Mantecón A.R. 2006. Adición de vinaza de remolacha a la pulpa de remolacha: cinética de degradación ruminal. *Proc. Congreso Nacional SEOC*: 62-65.
- Ferreira, F. N. A., Ferreira, W. M., da Silva Inácio, D. F., Neta, C. S. S., das Neves Mota, K. C., da Costa Júnior, M. B., ... & Caicedo, W. O. (2019). In vitro digestion and fermentation characteristics of tropical ingredients, co-products and by-products with potential use in diets for rabbits. *Animal feed science and technology*, 252, 1-10.
- Funane K., Ueyama H., Ohya S., Tanaka M. and Kato Y.. 1993. Sugar composition of beet pulp polysaccharides and their enzymatic hydrolysis. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57: 998-1000.
- Garcia G., Galvez J. and De Blas C., 1993, Effect of substitution of sugar beet pulp for barley in diets for finishing rabbits on growth performance and on energy and nitrogen efficiency. *J. Anim. Sci.*, 71:1823-1830.

- García J., Carabaño R., and de Blas J. C. 1999. Effect of fiber source on cell wall digestibility and rate of passage in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 77:898-905.
- García J., Carabaño R., Pérez-Alba L. and De Blas C. 2000. Effect of fiber source on cecal fermentation and nitrogen recycled through cecotrophy in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 78: 638-646
- Garcia, J. P., Li J., Shrestha A., Freedman J. C., Beingesser J., McClane B. A., Uzal F. A. and Blanke S. R. 2014. Clostridium perfringens Type A Enterotoxin Damages the Rabbit Colon. *Infect. Immun.*, 82: 2211-2218.
- Garrido S., Nicodemus N., García J., Chamorro S. and De Blas J.C. 2009. Effect of breeding system and farm hygiene on performances of growing rabbits and lactating does over two reproductive cycles. *World Rabbit Sci.*, 17: 71-78.
- Gidenne T. 1992. Effect of fibre level, particle size and adaptation period on digestibility and rate of passage as measured at the ileum and in the faeces in the adult rabbit. *Brit. J. Nutr.*, 61:133-146.
- Gidenne T. 1996. Nutritional and ontogenic factors affecting rabbit caeco-colic digestive physiology. *Proc. 6th. World Rabbit Congress. Vol 1, Toulouse.* 13-28.
- Gidenne T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Liv. Prod. Sci.*, 81: 105-117.
- Gidenne T. 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9: 227- 242.
- Gidenne T. and Fortun-Lamothe L. 2002. Feeding strategy for young rabbits around weaning: a review of digestive capacity and nutritional needs, *Anim. Sci.*, 75: 169-184.

- Gidenne T., Carabaño R., García J. and De Blas C. 2010. Fibre digestion. In: De Blas C. and Wiseman J. (Eds). *Nutrición of the Rabbit*, 2nd edition, CAB International, Wallingford, 66–82.
- Gidenne T., Carré B., Segura M., Lapanouse A., and Gomez J. 1991. Fibre digestion and rate of passage in the rabbit: effect of particle size and level of lucerne meal. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 32:215-221
- Gidenne T., Jehl N., Perez J. M., Arveux P., Bourdillon A., Mousset J. L., Duperray J., Stephan S., and Lamboley B. 2005b. Effect of cereal sources and processing in diets for the growing rabbit. II. Effects on performances and mortality by enteropathy. *Anim. Res.*, 54:65-72.
- Gidenne T., Kerdiles V., Jehl N., Arveux P., Eckenfelder B., Briens C., Stephan S., Fortune H., Montessuy S., Muraz G. 2013. Protein replacement by digestible fibre in the diet of growing rabbits. 2: impact on performances, digestive health and nitrogen output. *Animal Feed Science and Technology* 183, 142–150.
- Gidenne T., Mirabito L., Jehl N., Perez J. M., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Duperray J., and Corrent E. 2004. Impact of replacing starch by digestible fibre, at two levels of lignocellulose, on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Animal Science*. 78:389-398.
- Gidenne T., Pinheiro V., and Falcão e Cunha, L. 2000. A comprehensive approach of the rabbit digestion: consequences of a reduction in dietary fibre supply. *J. Livest. Prod. Sci.*, 64:225-237.
- Gidenne, T. (2015). Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: A review. *Animal*, 9(2), 227–242.

- Gidenne, T., and F. Lebas F. 2005. Le comportement alimentaire du lapin. In: Proc.eedings 11émes Journées de la Recherche Cunicole., Paris:, France, pp. 183-196.
- Gidenne, T., Carabaño, R., Abad-Guamán, R., García, J., & Blas, C. D. 2020. Fibre digestion. In Nutrition of the Rabbit (pp. 69-88). Wallingford UK: CAB International.
- Gidenne, T., S. Combes S., and L. Fortun-Lamothe L. 2012. Feed intake limitation strategies for the growing rabbit: effect on feeding behaviour, welfare, performance, digestive physiology and health: a review. *Animal.*, 6:9: 1407-1419.
- Gidenne, T., Segura, M. and Lapanouse, A. 2005a. Effect of cereal sources and processing in diets for the growing rabbit. I. Effects on digestion and fermentative activity in the caecum. *Anim. Res.*, 54:55-64
- Gilbert N. 2012. Rules tighten on use of antibiotics on farms. Clampdown aims to stop spread of drug-resistant microbes. *Nature*, 481: 125.
- Gómez-Conde M. S., García J., Chamorro S., Eiras P., Rebollar P. G., Pérez de Rozas A., Badiola I., de Blas C. and Carabaño R. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 85: 3313-3321.
- Gómez-Conde M.S., Pérez de Rozas A., Badiola I., Pérez-Alba L., de Blas C., Carabaño R. and García J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest. Sci.*, 125: 192-198.
- Hall M.B. 2003. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. *J. Anim. Sci.*, 81: 3226-3232.

- Hamid, P. H., Prastowo, S., & Kristianingrum, Y. P. (2019). Intestinal and hepatic coccidiosis among rabbits in Yogyakarta, Indonesia. *Veterinary world*, 12(8), 1256.
- Hao, H., Cheng G., Iqbal Z., Ai X., Hussain H. I., Huang L., Dai M., Wang Y., Liu Z. and Yuan Z. 2014. Benefits and risks of antimicrobial use in food-producing animals. *Front. Microb.*, 5: 1-15.
- Hassan, F., Mobaraz, S., Basyony, M., Mahrose, K., & El-Medany, S. 2019. Effect of using prickly pear and its by-products as alternative feed resources on performance of growing rabbit. *Egyptian Journal of Rabbit Science*, 29(1), 99-124.
- Hersey-Benner, C. 2008. Diarrhea in a rabbit. *Cyniclomyces guttulatus* yeast. *Lab. Anim.*, 37: 347-349.
- Higgins J. A. 2004. Resistant starch: metabolic effects and potential health benefits. *J. AOAC Int.*, 87:761-768
- Hinková, A. and Bubník Z. 2001. Sugar beet as a raw material for bioethanol production. *Czech J. Food Sci.*, 19: 224-234
- Hon, F.M., Oluremi O.I.A. and Anugwa F.O.I. 2009. The effect of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit pulp meal on the growth performance of rabbits. *Pakistan J. Nut.*, 8: 1150-1155.
- Ibrahim, M., Ahmad, F., Yaqub, B., Ramzan, A., Imran, A., Afzaal, M., ... & Ahmed, S. (2020). Current trends of antimicrobials used in food animals and aquaculture. In *Antibiotics and antimicrobial resistance genes in the environment* (pp. 39-69). Elsevier.

- Jenckel, M., Hall, R. N., & Strive, T. (2022). Pathogen profiling of Australian rabbits by metatranscriptomic sequencing. *Transboundary and Emerging Diseases*, 69(5), e2629-e2640.
- Kotarski S. F., Waniska R. D., and Thurn K. K. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178-190
- Kurchaeva, E. E., Vostroilov, A. V., Artemov, E. S., & Maksimov, I. V. 2019. Improvement of rabbit productivity using probiotics and herbal supplements. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 341, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Laparra, J. M. and Sanz Y. 2010. Interactions of gut microbiota with functional food components and nutraceuticals. *Pharmacological Research.*, 61. 219-225.
- Laurent-Bennegadi, N., Licois D. and Gidenne T. 2013. Nutritionally induced enteropathy in the growing rabbit: impact on caecal microbial activity and blood metabolic profile. *Revue Méd. Vét.*, 164: 495-502.
- Lelkes, L. and Chang C. L. 1987. Microbial dysbiosis in rabbit mucoid enteropathy. *Lab. Anim. Sci.*, 37: 757-764.
- Li, S., Liu, T., Wang, K., Li, C., Wu, F., Yang, X., ... & Chen, X. (2023). The ratios of dietary non-fibrous carbohydrate (NFC) to neutral detergent fiber (NDF) influence intestinal immunity of rabbits by regulating gut microbiota composition and metabolites. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1146787.
- Li, Z., He, H., Ni, M., Wang, Z., Guo, C., Niu, Y., ... & Xu, H. (2022). Microbiome-metabolome analysis of the immune microenvironment of the cecal contents, soft feces, and hard feces of Hyplus rabbits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022.

- Licois D., Wyers M. and Coudert P. 2005. Epizootic Rabbit Enteropathy: experimental transmission and clinical characterization. *Vet. Res.*, 36: 601-613.
- Liu, K. (2022). New and improved methods for measuring acid insoluble ash. *Animal Feed Science and Technology*, 288, 115282.
- Ma M., Gurjar A., Theoret J. R., Garcia J. P., Beingesser J., Freedman J. C., Fisher D. J., McClane B. A. and Uzal F. A. 2014. Synergistic Effects of Clostridium perfringens Enterotoxin and Beta Toxin in Rabbit Small Intestinal Loops. *Infect. Immun.*, 82: 2958-2970.
- Maertens L., Cornez B., Vereecken M. and Oye S.V. 2005. Efficacy study of soluble bacitracin (Bacivet S(R)) in a chronically infected Epizootic Rabbit Enteropathy environment. *World Rabbit Sci.*, 13, 165-178.
- Maitre I., Lebas F., Arveux P., Bouirdillon A., Duperray J. and Saint Cast Y. 1990. Taux de lignocelluloses et performances de croissance du lapin de chair. *Proc. 5eme Journées de la Recherche Cunicoles*, Vol. 2. Paris: 56.1.
- Marlier D., Dewree R., Lassence C., Licois D., Mainil J., Coudert P., Meulemans L., Ducatelle R. and Vindevogel H. 2006. Infectious agents associated with epizootic rabbit enteropathy: Isolation and attempts to reproduce the syndrome. *Vet. J.*, 172: 493-500.
- Marshall, B. M. and Levy S. B. 2011. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clin. Microbiol. Rev.*, 24: 718-733.
- Martignon, M. H., Combes S. and Gidenne T.. 2010. Digestive physiology and hindgut bacterial community of the young rabbit (*Oryctolagus cuniculus*): Effects of age and short-term intake limitation. *Comp. Bioch. Physiol. Part A: Molecular & Integrative Physiology.*, 156: 156-162.

- Mojtahedi, M. and Mesgaran M. D. 2009. Variability in the chemical composition and in situ ruminal degradability of sugar beet pulp produced in North- East Iran. *Res. J. Biol. Sci.*, 4: 1262-1266.
- Montoro-Dasi, L., Lorenzo-Rebenaque, L., Ramon-Moragues, A., Pérez-Gracia, M. T., de Toro, M., Marin, C., & Villagra, A. (2022). Antibiotic removal does not affect cecal microbiota balance and productive parameters in LP robust rabbit line. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1038218.
- Mora, M., Velasco-Galilea, M., Sánchez, J. P., Ramayo-Caldas, Y., & Piles, M. (2022). Disentangling the causal relationship between rabbit growth and cecal microbiota through structural equation models. *Genetics Selection Evolution*, 54(1), 81.
- Nagahama M., Ochi S., Oda M., Miyamoto K., Takehara M. and Kobayashi K. 2015. Recent insights into *Clostridium perfringens* Beta-Toxin. *Toxins*, 7: 396-406.
- Nistor, E., Bampidis V. A., Păcală N., Pentea M., Tozer J. and Prundeanu H.. 2013. Nutrient content of rabbit meat as compared to chicken, beef and pork meat. *J. Anim. Prod. Adv.*, 3: 172-176.
- North, M., Dalle Zotte, A., & Hoffman, L. (2019). Composition of rabbit caecal microbiota and the effects of dietary quercetin supplementation and sex thereupon. *World rabbit science*, 27(4), 185-198.
- Omer H. A. A., Abdel-Magid S. S., El-Badawi A. Y., Awadalla I. M., Mohamed M. and Zaki M. S.. 2013. Nutritional impact for the whole replacement of concentrate feed mixture by dried sugar beet pulp on growth performance and carcass characteristics of ossimi sheep. *Life Sci. J.*, 10: 1987-1999.

- Paul, G. C., & Friend, D. G. (2021). Aggressive treatment of young cottontail rabbits (*Sylvilagus* spp.) for coccidiosis resulted in large reduction in gastrointestinal disease mortality from all causes (Colorado USA). *Wildlife Rehabilitation and Medicine*, 41(3), 7–12.
- Paul, G., & Friend, D. (2023). Mucoïd enteropathy/epizootic rabbit enteropathy in two species of cottontail rabbits: four recent cases. *Wildlife Rehabilitation Bulletin*, 41(1), 9–12.
- Pedro, D., Saldaña, E., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Dominguez, R., Dos Santos, B. A., ... & Campagnol, P. C. B. (2021). Low-sodium dry-cured rabbit leg: A novel meat product with healthier properties. *Meat Science*, 173, 108372.
- Peeters J.E., Maertens L., Orsenigo R. and Colin M. 1995. Influence of dietary beet pulp on caecal VFA, experimental colibacillosis and iota-enterotoxaemia in rabbits. *Anim. Feed Sci.Tech.*, 51: 123-139.
- Peeters, J. E., Pohl P., Charlier G., Geeroms R., and Glorieux B. 1984. Infectious agents associated with diarrhoea in commercial rabbits: A field study. *Annales de Recherches Vétérinaires*. 15:335-340.
- Pogány Simonová, M., Chrastinová, L., & Lauková, A. (2020). Autochthonous strain *Enterococcus faecium* EF2019 (CCM7420), its bacteriocin and their beneficial effects in broiler rabbits—A review. *Animals*, 10(7), 1188.
- Proscky L., Asp N. G., Schweizer T. F., de Vries J. W. and Furda I. 1988. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 71: 1017-1023.
- Raigond P., Ezekiel R., and Raigond B. 2015. Resistant starch in food: a review. *J. Sci. Food Agric.*, 95:1968-1978

- Puón-Peláez, X. H. D., McEwan, N. R., Álvarez-Martínez, R. C., Mariscal-Landín, G., Nava-Morales, G. M., Mosqueda, J., & Olvera-Ramírez, A. M. (2022). Effect of Feeding Insoluble Fiber on the Microbiota and Metabolites of the Caecum and Feces of Rabbits Recovering from Epizootic Rabbit Enteropathy Relative to Non-Infected Rabbits. *Pathogens*, 11(5), 571.
- Puón-Peláez, X. H. D., McEwan, N. R., Álvarez-Martínez, R. C., Mariscal-Landín, G., Nava-Morales, G. M., Mosqueda, J., & Olvera-Ramírez, A. M. (2022). Effect of feeding insoluble fiber on the microbiota and metabolites of the caecum and feces of rabbits recovering from epizootic rabbit enteropathy relative to non-infected rabbits. *Pathogens*, 11(5), 571.
- Puón-Peláez, X. H. D., McEwan, N. R., Gómez-Soto, J. G., Álvarez-Martínez, R. C., & Olvera-Ramírez, A. M. (2020). Metataxonomic and histopathological study of rabbit epizootic enteropathy in Mexico. *Animals*, 10(6), 936.
- Puón-Peláez, X.-H., McEwan, N., & Olvera-Ramírez, A. (2018). Epizootic rabbit enteropathy (ERE): A review of current knowledge. *European Scientific Journal*, 14(36), 137–149.
- Purwin, C., Gugolek, A., Strychalski, J., & Fijałkowska, M. (2019). Productivity, nutrient digestibility, nitrogen retention, and meat quality in rabbits fed diets supplemented with *Sida hermaphrodita*. *Animals*, 9(11), 901.
- Rahman, A. A., Taie, H. T., Baraghit, G. A., Soliman, A. M., & Rabie, A. I. 2020. Carcass traits, cecum activity, blood metabolic parameters and histopathological status in rabbits fed jatropa (*Jatropha curcas*) seed meal. *Egyptian Journal of Animal Production*, 57(Suppl. Issue), 135-142.

- Rodríguez-Romero N., Abecia L., Fondevila M. and Balcells J. 2011. Effects of levels of insoluble and soluble fibre in diets for growing rabbits on faecal digestibility, nitrogen recycling and in vitro fermentation. *World Rabbit Sci.*, 19: 85-94.
- Romero C. 2011. New feeding and management strategies for the improvement of fattening rabbit intestinal health. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos. 350p.
- Romero C., Nicodemus N., Rodríguez, J. D., García A. I., and de Blas C. 2011. Effect of type of grinding of barley and dehydrated alfalfa on performance, digestion, and crude mucin ileal concentration in growing rabbits. *J. Anim. Sci.*, 89:2472-2484.
- Rosell J.M., Cuervo L., Argüello J.L., Badiola J,I, and Blas E. 2000. Enfermedades del aparato digestivo: causas parasitarias y otras. Enteropatía mucoide. En: Rosell J.M. (ed). *Enfermedades del conejo. Tomo II. Enfermedades.* Ed Mundi-Prensa. Madrid. 248-261.
- Santoro, S., Aguayo-Adán, J. A., & Rouco, C. (2023). Comparison of the impact between classical and novel strains of rabbit haemorrhagic disease on wild rabbit populations in Spain. *Biology*, 12, 728.
- Scapinello C., Gidenne T., and Fortun-Lamothe L. 1999. Digestive capacity of the rabbit during the post-weaning period, according to the milk/ solid feed intake pattern before weaning. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39: 423–432.
- Schlolaut W., Hudson R. and Rödel H. G. 2013. Impact of rearing management on health in domestic rabbits: A Review. *World Rabbit Sci.*, 21: 145-159.
- Shifrine M., Phaff H. J. 1958. On the isolation, ecology and taxonomy of *Saccharomycopsis guttulata*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 24: 193-209.

- Skoufos I, Bonos E, Anastasiou I, Tsinas A, Tzora A (2020). Effects of phytobiotics in healthy or disease challenged animals, In: Feed Additives, Elsevier Inc. 311-37.
- Solans, L., Arnal, J. L., Sanz, C., Benito, A., Chacón, G., Alzuguren, O., & Fernández, A. B. (2019). Rabbit Enteropathies on commercial farms in the iberian peninsula: Etiological agents identified in 2018–2019. *Animals*, 9(12), 1142.
- Stojanovska, L., Ali, H. I., Kamal-Eldin, A., Souka, U., Al Dhaheri, A. S., Cheikh Ismail, L., & Hilary, S. (2023). Soluble and insoluble dietary fibre in date fruit varieties: An evaluation of methods and their implications for human health. *Foods*, 12, 1231.
- Szalo I. M., Lassence C., Licois D., Coudert P., Poulipoulis A., Vindevogel H. and Marlier D.. 2007. Fractionation of the reference inoculum of epizootic rabbit enteropathy in discontinuous sucrose gradient identifies aetiological agents in high density fractions. *Vet. J.*, 173: 652-657.
- Timm, M., Offringa, L. C., Van Klinken, B. J. W., & Slavin, J. (2023). Beyond Insoluble Dietary Fiber: Bioactive Compounds in Plant Foods. *Nutrients*, 15, 4138.
- Tissue, G. A. L. (2020). Small intestine. *Ferrets Rabbits Rodents-E-Book Clin Med Surg*, 20, 162.
- Trocino A., García J., Carabaño R. and Xiccato G. 2013. A meta-analysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 21: 1-15.
- Volek Z. and Marounek M. 2011. Dried chicory root (*Cichorium intybus* L.) as a natural fructan source in rabbit diet: effects on growth performance, digestion and caecal and carcass traits. *World Rabbit Sci.*, 19: 143-150.

- Vučurović, D., Bajić, B., Vučurović, V., Jevtić-Mučibabić, R., & Dodić, S. (2022). Bioethanol production from spent sugar beet pulp—Process modeling and cost analysis. *Fermentation*, 8, 114.
- Wróblewska, P., Hikawczuk, T., & Wiliczekiewicz, A. (2021). Dried sugar beet pulp as a source of soluble dietary fibre in equine nutrition: A review. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 21, 405–420.
- Wu, Z., Zhou, H., Li, F., Zhang, N., & Zhu, Y. (2019). Effect of dietary fiber levels on bacterial composition with age in the cecum of meat rabbits. *Microbiology Open*, 8(5), e708.
- Zamaratskaia, G., Havrysh, O., Korzeniowska, M., & Getya, A. (2023). Potential and limitations of rabbit meat in maintaining food security in Ukraine. *Meat Science*, 204, 109293
- Zhang W., Li D., Liu L., Zang J., Duan Q., Yang W. and Zhang L. 2013. The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs. *J. Anim. Sci. Biotech.*, 4: 1-7.
- Zhu Y. L., Wang C. Y. and Li F. C.. 2015. Impact of dietary fiber/starch ratio in shaping cecal microbiota in rabbits. *Canad. J. Microb.*, 61: 771-784.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

En la introducción se ha abordado el empleo de la pulpa de remolacha como materia prima de especial interés como fuente de energía, proteína y sobre todo fibra en la alimentación de conejos, más que en otras especies de monogástricos, compatible con las particularidades de su fisiología digestiva; aunque en las últimas décadas se ha observado también su uso en la alimentación de cerdos, pollos y rumiantes.

La alta variabilidad de su composición química y valor nutricional, debido a las diferentes procedencias y procesos de fabricación, sugieren que la pulpa granulada de remolacha requiere de una caracterización apropiada, a través de pruebas químicas y biológicas, antes de definir las recomendaciones para su uso en dietas de conejos.

2.1.1. Objetivo general

Evaluar el valor nutritivo de la pulpa granulada de remolacha producida en diferentes zonas azucareras de España, y sus adecuados niveles de inclusión en piensos de crecimiento para conejos.

2.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la composición química de las pulpas granuladas de remolacha procedentes del norte (invierno) y sur (verano) de España.
- Determinar la digestibilidad y el valor energético de pulpas granuladas de remolacha de España en conejos de cebo.
- Determinar el efecto del nivel de pulpa granulada de remolacha en la dieta, con y sin melaza, sobre el consumo de pienso, ganancia de peso, actividad cecal y mortalidad en conejos de cebo.

III. EXPERIMENTOS

3.1. EFECTO DE LA ÉPOCA DE COSECHA EN LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PULPA GRANULADA DE REMOLACHA AZUCARERA (*Beta vulgaris*).

3.1.1. Resumen

Se caracterizó la composición química de pulpas granuladas de remolacha procedentes del norte y sur de España, cosechadas en invierno y verano, respectivamente. Se compararon la composición química y el contenido de ácidos grasos y aminoácidos de 12 muestras de pulpa de remolacha agrupadas según su procedencia. La materia seca (MS) de las pulpas de remolacha se caracterizan por un bajo contenido en proteína (8.7%), con el 62% ligado a la fibra neutro detergente (FND)), grasa bruta (1.2%) y almidón (0.9%), pero alto contenido en FND (39.4%) y fibra soluble en detergente neutro (45.7%). El análisis de componentes principales de los principales principios inmediatos indicó que ya los dos primeros componentes principales (CP) explican el 62% de la variabilidad en la composición de la pulpa de remolacha. Los valores de los autovectores de los CP indicaron un importante peso del contenido en almidón y la FND en el primer CP y del contenido en cenizas en el segundo CP. El análisis cluster de la composición química identificó la existencia de dos subgrupos que principalmente separaba las muestras por época del año. Las pulpas recolectadas en verano contienen menos cenizas insolubles y almidón (-1.7, y -0.4%, respectivamente; $P < 0.05$) y más FND (+6.1%MS; $P < 0.05$) que las pulpas de invierno. Se concluye que la pulpa de remolacha procedente de la industria azucarera española es un subproducto que aporta un alto contenido de fibra, tanto soluble como insoluble, aunque es importante tipificar la naturaleza química de estos componentes fibrosos, dada su variabilidad según el origen.

Palabras clave: *Ácidos grasos, aminoácidos, fibra insoluble, fibra soluble, pulpa de remolacha*

3.1.2. Introducción

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) es un miembro de la familia de las Chenopodiaceae, una planta bienal cuyas hojas crecen durante la primera temporada, mientras que la raíz se hincha y acumula una alta concentración de sacarosa en la segunda temporada y pueden producir hasta 15 toneladas de azúcar/ha a partir de 83 toneladas de raíces (El-Emary, 2017). La planta se cultiva comercialmente para la producción de azúcar, cuya extracción genera los subproductos, como la pulpa de remolacha (PR), que constituye un importante subproducto ampliamente utilizado en la alimentación animal (Habeeb *et al.*, 2017), destinado especialmente a rumiantes y conejos, en más del 20 y 10 % de la ración diaria, respectivamente (Omer *et al.*, 2013; Münnich *et al.*, 2017; Delgado *et al.*, 2018). El uso de la PR en la alimentación animal requiere el conocimiento de su valor nutritivo, siendo rica en celulosa, hemicelulosa y pectina, pero pobre en lignina y proteína (Foster *et al.*, 2001), aunque esto puede variar según la variedad de remolacha, las condiciones de su cultivo y el proceso de extracción del azúcar.

España tiene dos zonas productoras de remolacha azucarera, una en la Zona Norte (Castilla y León, Álava, La Rioja y Huesca), con siembra en primavera y recolección en invierno, después de 145 días de campaña (Junta de Castilla y León, 2019); y otra en el sur (Andalucía, Cádiz y Sevilla), con una campaña de 156 días (Diario de Jerez, 2021). En ambas zonas se cultivan varias variedades de remolacha y en ambas se incluyen cultivos de secano y regadío. La superficie cultivada y la producción de remolacha están en ligero descenso en la última década, con una media de los últimos 4 años (2017/18-2020/21) de 25.122

ha en la zona de siembra primaveral y 7.718 en la de otoñal, con un total de 32.840 ha y una producción total de 2.82 mil de toneladas (MAPA, 2022).

Ambas zonas de producción tienen diferencias importantes en genotipo, madurez, estación y manejo, las mismas que podrían influir en la calidad de la PR (Moore et al., 2020), por lo que el objetivo del estudio fue caracterizar la composición química de las pulpas granuladas de remolacha procedentes de ambas zonas, comercializadas en España.

3.1.3. Materiales y métodos

Se analizaron 12 muestras de pulpa granulada de remolacha recogidas directamente de los almacenes de las plantas azucareras productoras, al principio y al final de la campaña remolachera, mediante muestreo en distintos puntos del almacén. Siete muestras procedían de plantas de producción del norte (invierno) y otras cinco del sur (verano). Los análisis químicos se realizaron por los métodos oficiales de la AOAC (2016) para materia seca (MS; 934.01), cenizas totales (CE; 942.05), proteína bruta (PB) y proteína bruta ligada a fibra neutro detergente (PBFND; 976.06) y grasa bruta (GB; 920.39), así como la fibra neutro detergente corregida por cenizas y proteína (FND), fibra ácido detergente corregida por cenizas (FAD) y lignina ácido detergente (LAD), determinadas de forma secuencial. También se determinó el contenido en almidón (ALM) de acuerdo con Batey (1982) y la fibra soluble en detergente neutro (FSDN) por el método Hall *et al.* (1997), adaptado al sistema de bolsas de nylon según lo descrito por Martínez-Vallespín *et al.*, (2011). El contenido de hemicelulosa se estimó por diferencia entre FND y FAD; y el de celulosa, por diferencia entre FAD y LAD. Las cenizas insolubles (CI) corresponden al residuo insoluble de las cenizas totales tratadas con ácido clorhídrico y ácido nítrico, lavado con ácido clorhídrico 1N y agua y nueva calcinación (van Keulen y Young 1977).

Los ésteres metílicos de ácidos grasos de las 12 muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases Focus Gas Chromatograph (Thermo, Milán, Italia) equipado con una entrada split/splitless y detector de ionización de llama. La separación se realizó en una columna capilar SPTM 2560 (Supelco, PA, USA) (100 m × 0.25 mm × 0.2 mm de espesor de película) con un caudal de 1.1 mL de He min⁻¹, según el siguiente gradiente de temperatura: 140°C temperatura inicial durante 5 min, aumentando gradualmente a lo largo de un gradiente lineal de 4°C min⁻¹ hasta 240°C, manteniendo esta temperatura durante 30 min, para finalmente volver a las condiciones iniciales. El inyector y el detector se mantuvieron a 260°C. Los ácidos grasos se identificaron comparando sus tiempos de retención con los de un patrón de ésteres metílicos de ácidos grasos (47885-U) de Supelco® (Pennsylvania, USA) y se cuantificaron utilizando C13:0 como patrón interno (O'Fallon *et al.*, 2007).

El contenido de aminoácidos se determinó después de la hidrólisis ácida de las muestras con HCL 6N a 110°C durante 23 h, como se describió previamente por Liu *et al.* (1995), utilizando un sistema HPLC Waters (Milford, Massachusetts, USA) que consta de dos bombas (Mod. 515, Waters), un muestreador automático (Mod. 717, Waters), un detector de fluorescencia (Mod. 474, Waters) y un módulo de control de temperatura. Se añadió ácido aminobutírico como estándar interno después de la hidrolización. Los aminoácidos se derivatizaron con AQC (carbamato de 6-aminoquinolil-N-hidroxisuccinimidilo) y se separaron con una columna de fase inversa C-18 Waters AcQ Tag (150 mm × 3.9 mm). La metionina y la cistina se determinaron por separado como metionina sulfona y ácido cisteico, respectivamente, después de la oxidación con ácido per fórmico seguida de hidrólisis ácida.

Para realizar el análisis estadístico de los resultados, se utilizó el programa informático SAS (Instituto SAS, 2009). Inicialmente se realizó un

análisis de caracterización de las muestras con el procedimiento MEANS, así como un análisis de correlación con el procedimiento CORR de SAS. Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales con el procedimiento PRINCOMP, así como un análisis cluster con el procedimiento CLUSTER de SAS para obtener un análisis de cluster jerárquico en una estructura de árbol para identificar patrones. Finalmente, se realizó un análisis de la varianza con el procedimiento GLM de SAS, incluyendo como efectos fijos la estación del año (invierno o verano), y la presencia de aditivo en la pulpa (con o sin melaza). Para la comparación de medias se utilizó la t de Student ($\alpha = 0.05$).

3.1.4. Resultados y discusión

En la tabla 3.1.1 se muestra la caracterización química de las muestras de pulpa de remolacha evaluadas en este estudio.

Las pulpas de remolacha se caracterizaron por un bajo contenido en proteína bruta (8.7% en materia seca (MS)), con el 62% de esta proteína ligada a la FND. Estos resultados se encuentran dentro del rango (7.4 a 15.6%MS) de los trabajos realizados anteriormente (De Blas y Carabaño 1996, DePeters *et al.*, 2000, NRC 2000 y Habeeb *et al.*, 2017). Por otro lado, a pesar de su bajo contenido en proteína poco accesible, ésta es rica en lisina y treonina (7.3 y 6.5% de la PB, respectivamente), aunque pobre en azufrados (2.2% de la PB) cuando la comparamos con otras fuentes proteicas típicas para conejos, como las tortas de soja o girasol, alfalfa y salvado de trigo (De Blas *et al.*, 2010).

El contenido de cenizas totales coincidió con los informados por Volek *et al.* (2003), con valores en torno a 7%, mientras que otros autores reportan valores entre 4.4-13.2% (NRC 2000 y De Blas *et al.*, 2010). Cerca de la mitad de las cenizas totales (54%) de la pulpa de remolacha fueron cenizas insolubles, evidenciando un alto contenido de compuestos silíceos (Liu, 2022). La inclusión

de otros subproductos en la pulpa de remolacha, tales como melazas y/o vinazas, puede estar en el origen de estas diferencias.

En lo que se refiere a nutrientes energéticos, y como era de esperar, las pulpas de remolacha son pobres en almidón (0.9%MS) y grasa bruta (1.2%MS), esta última caracterizada por su contenido en los ácidos linoleico, palmítico y oleico, los mismos que están dentro de los rangos observados previamente (0.5-2%MS; NRC, 2000; Volek *et al.* 2003).

Las pulpas de remolacha contienen fibra como su mayor componente, sobre todo FND (39.4%MS) y FSDN (45.7%MS), esta última altamente fermentable y digestible en el conejo (Gidenne, 2015; Habeeb *et al.*, 2017). El contenido medio en FAD fue ligeramente inferior a los valores de 25-29%MS reportados previamente por otros autores (De Blas y Carabaño 1996; Fadel *et al.*, 2000; Volek *et al.*, 2003 y De Blas *et al.*, 2010); sin embargo, el contenido en celulosa (19.5%MS) está entre los valores (13-28%MS) informados previamente por otros autores (De Blas y Carabaño 1996; DePeters *et al.*, 2000 y Pereira y González 2004).

Así, en términos generales, la pulpa de remolacha es un subproducto de alto contenido de carbohidratos fibrosos insolubles (celulosa y hemicelulosas) y carbohidratos solubles en detergente neutro, y con bajo contenido de lignina, lo que la hace excelente fuente de energía en aquellos animales que tienen una buena digestibilidad de este tipo de compuestos (Cobos *et al.*, 1995 y Habeeb *et al.*, 2017). Además, la FSDN está formada por pectinas solubles e insolubles, hemicelulosas solubles (arabinosilanos y β -glucanos), fructanos y oligosacáridos (Martínez-Valleespín *et al.*, 2011), a los que se les otorga una función muy importante en la salud intestinal de los animales (Fishman *et al.*, 2011), especialmente de los monogástricos (Carabaño *et al.*, 2008 y Xiccato *et al.*, 2011). El contenido en LAD fue bajo (2.1%MS) pero muy variable (65%). De Blas *et*

al. (2010) observaron valores de LAD cercanos a 2%MS, pero Pereira y Gonzalez (2004) observaron variaciones entre 2 y 6%MS para muestras de distinta procedencia, que pueden estar relacionadas con su variedad y cultivo.

Respecto a los principales factores de variabilidad, centrando la atención en los nutrientes mayoritarios, se observa que el contenido en hemicelulosa puede variar del 14 al 26%MS y el de FSDN del 36 al 56%MS en función de la pulpa analizada, lo que podría afectar sensiblemente al valor nutritivo de esta materia prima en función de la pulpa adquirida.

Tabla 3.1.1. Composición química (%MS) de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12).

	Media	DS	Mínimo	Máximo	CV (%)
Materia seca (MS; %)	89.95	2.01	85.15	92.19	2.23
Cenizas totales	6.76	1.41	4.32	8.54	20.81
Cenizas insolubles	3.10	1.14	1.50	5.00	36.64
Proteína bruta (PB)	8.74	0.71	7.53	9.73	8.07
Grasa Bruta	1.22	0.15	1.02	1.42	12.09
Fibra neutro detergente (FND)	39.44	4.60	32.80	49.58	11.66
Hemicelulosas	17.90	3.54	14.01	25.86	19.77
Fibra ácido detergente	21.54	2.25	16.69	24.11	10.46
Celulosas	19.47	2.93	13.33	22.88	15.05
Lignina ácido detergente	2.07	1.37	0.34	4.50	65.91
FSDN	45.66	5.14	36.09	53.43	11.26
Almidón	0.89	0.36	0.46	1.55	40.08
PBFND	5.40	1.15	3.99	8.26	21.24
Ácidos grasos:					
Palmítico (C16:0)	0.279	0.040	0.207	0.328	14.49
Oleico (C18:1 n9)	0.107	0.021	0.080	0.150	19.56
Vaccénico (18:1 n7)	0.014	0.002	0.010	0.017	14.46
Linoleico (C18:2 n6)	0.501	0.117	0.339	0.778	23.28
Linolénico (C18:3 n3)	0.056	0.013	0.037	0.087	22.84
Docosanoico (C22:0)	0.007	0.001	0.005	0.009	18.35
Araquidónico (C20:4 n6)	0.007	0.002	0.004	0.012	28.62
Docosaheptaenoico (C22:2n6)	0.009	0.003	0.001	0.013	36.81
SFA	0.286	0.040	0.213	0.336	14.13
MUFA	0.121	0.021	0.093	0.161	17.43
PUFA	0.573	0.130	0.397	0.883	22.70
Aminoácidos (g/kg MS):					
Ácido aspártico	0.812	0.085	0.645	0.915	10.46
Ácido glutámico	1.207	0.094	1.019	1.359	7.77
Alanina	0.512	0.050	0.431	0.579	9.78
Arginina	0.343	0.052	0.271	0.406	15.12
Cisteína	0.105	0.021	0.082	0.153	20.51
Fenilalanina	0.364	0.059	0.271	0.486	16.32
Glicina	0.471	0.048	0.379	0.530	10.30
Histidina	0.327	0.046	0.243	0.397	14.12
Isoleucina	0.388	0.044	0.307	0.460	11.27
Leucina	0.620	0.085	0.471	0.757	13.74
Lisina	0.567	0.130	0.349	0.707	22.96
Metionina	0.174	0.039	0.124	0.247	22.32
Prolina	0.504	0.188	0.349	1.065	37.25
Serina	0.546	0.060	0.425	0.638	10.96
Tirosina	0.323	0.056	0.255	0.461	17.23
Treonina	0.508	0.062	0.402	0.601	12.28
Valina	0.596	0.067	0.470	0.703	11.16

DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; SFA: ácidos grasos saturados; MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados.

En la Tabla 3.1.2. se puede observar la matriz de correlaciones entre los principales componentes de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas, donde se observa que no existen muchas correlaciones entre los componentes. Como era de esperar el contenido en CI está relacionado con el CE (73%; $P < 0.01$). Así mismo, se observa que, a mayor contenido en FAD y FSND menor es el contenido en almidón y GB, respectivamente (-77 y -85%; $P < 0.01$). Finalmente, y como es de esperar a mayor hemicelulosa mayor FND (+88%; $P < 0.001$) y a mayor celulosa mayor FAD (+89%; $P < 0.001$).

Tabla 3.1.2. Matriz de correlaciones entre componentes de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (coeficiente de Pearson; P-valor).

	CI	PB	GB	ALM	FND	FAD	LAD	FSDN	HEMI	CEL	PBFND
CE	+0.732 0.007	+0.329 0.297	-0.495 0.297	-0.409 0.186	-0.176 0.584	+0.055 0.867	+0.324 0.304	-0.366 0.242	-0.264 0.408	-0.109 0.735	-0.297 0.349
CI		+0.144 0.654	-0.093 0.775	+0.182 0.572	-0.572 0.052	-0.311 0.326	+0.243 0.448	+0.117 0.718	-0.545 0.067	-0.352 0.262	-0.218 0.497
PB			-0.355 0.258	-0.248 0.4362	-0.192 0.550	-0.104 0.748	+0.573 0.052	-0.393 0.207	-0.183 +0.569	-0.347 0.269	-0.275 0.387
GB				+0.459 0.1336	-0.192 0.550	+0.131 0.684	-0.171 0.595	-0.851 0.001	-0.333 0.291	+0.181 0.574	+0.388 0.213
ALM					-0.656 0.020	-0.766 0.004	-0.001 0.998	+0.668 0.018	-0.365 0.243	-0.589 0.044	+0.209 0.514
FND						+0.661 0.0193	+0.024 0.942	-0.438 0.155	+0.878 0.001	+0.497 0.100	+0.355 0.257
FAD							-0.265 0.405	-0.117 0.717	+0.222 0.489	+0.893 0.001	+0.097 0.764
LAD								-0.260 0.415	+0.200 0.534	-0.671 0.017	+0.178 0.579
FSDN									-0.494 0.103	+0.031 0.924	+0.390 0.210
HEMI										+0.077 0.812	+0.400 0.198
CEL											-0.009 0.979

CE: cenizas totales; CI: cenizas insolubles; PB: proteína bruta; GB: grasa bruta; ALM: almidón; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; LAD: lignina ácido detergente; FSDN: fibra soluble en detergente neutro; HEMI: hemicelulosas; CEL: celulosas; PBFND: proteína bruta asociada a la FND.

Los tres componentes principales de mayor importancia nutricional en los forrajes son los carbohidratos, las proteínas y los lípidos (Hatfield y Kalscheur, 2020); y dado que estos componentes están poco correlacionados, se

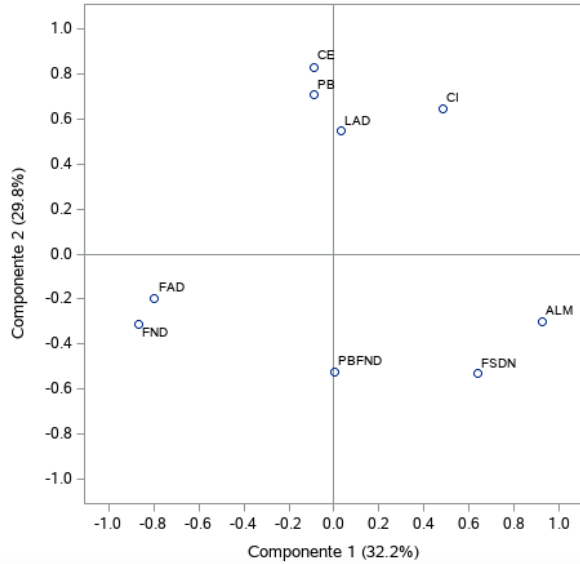
puede averiguar, a través de un análisis de componentes principales, cuáles de estos son los principales responsables de la variabilidad nutricional entre las diferentes pulpas evaluadas. Para estudiar cuáles son los principales factores determinantes de la variabilidad en la composición química de las pulpas evaluadas, en la Figura 3.1.1 se muestra una representación de las tres primeras componentes principales obtenidas a partir de sus principales nutrientes. Ya las dos primeras componentes principales (CP) explican el 62% de la variabilidad en la composición de la pulpa de remolacha, y al introducir la tercera CP alcanzamos el 78% de explicación.

A partir de los valores de los autovectores se observa que, los componentes que más peso tienen en la CP1 son por un lado el almidón y la FSND, y por el otro la FND y FAD (probablemente discerniendo entre las pulpas más ricas en fibras solubles e insolubles), que en la CP2 tiene un peso importante las CE y que en la CP3 el LAD (muy variable, como se observa en la Tabla 3.1.1).

Estos resultados estarían indicando que se pueden encontrar pulpas que difieren bastante en su composición química, principalmente en función de la naturaleza de su fracción fibrosa, con elevado protagonismo en la primera componente principal, y que quizás el contenido en cenizas puede ser también un factor importante de variabilidad. En función del contenido en estas fracciones el valor nutritivo de las pulpas podría cambiar sustancialmente.

Para poder acotar dicha variabilidad, y tomar decisiones a la hora de identificar el potencial valor nutritivo de las diferentes pulpas de remolacha que se encuentran en el mercado, se realizó un análisis cluster que se ve representado en el dendrograma de la Figura 3.1.2, donde se puede observar, a partir de elevado R^2 semi-parcial de la primera separación entre poblaciones, que existen principalmente dos subpoblaciones de pulpas de remolacha a partir de la

información de su composición química. La primera población está constituida por las muestras obtenidas en verano en la fábrica 6 (aunque también una muestra de invierno de la fábrica 2), y una segunda población que incluye todas las muestras de invierno (menos la mencionada) de cuatro fábricas (aunque también incluye una muestra de verano de la fábrica 5).



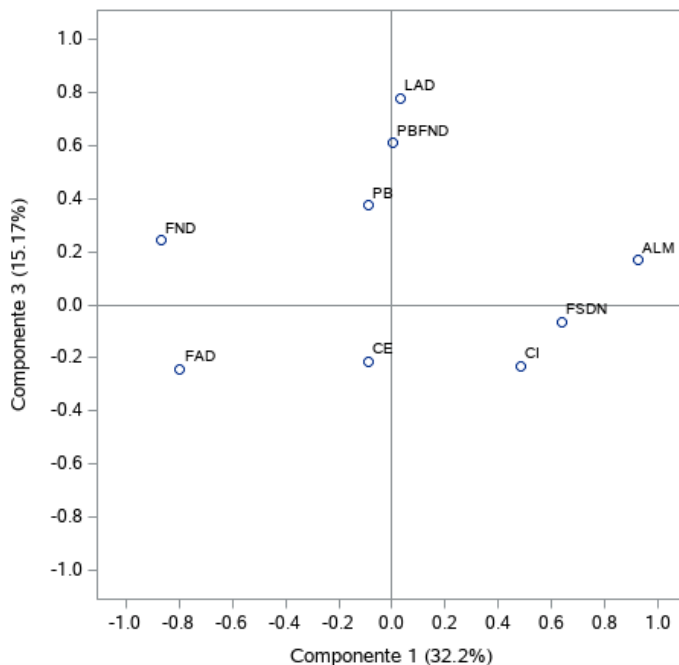


Figura 3.1.1. Representación del patrón de las tres primeras componentes principales obtenidas a partir de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12). Entre paréntesis, el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente.

De una forma práctica, se podría decir que, en general, los lotes de verano e invierno de pulpas podrían tener importantes diferencias nutricionales a ser consideradas en su utilización en la fabricación de piensos.

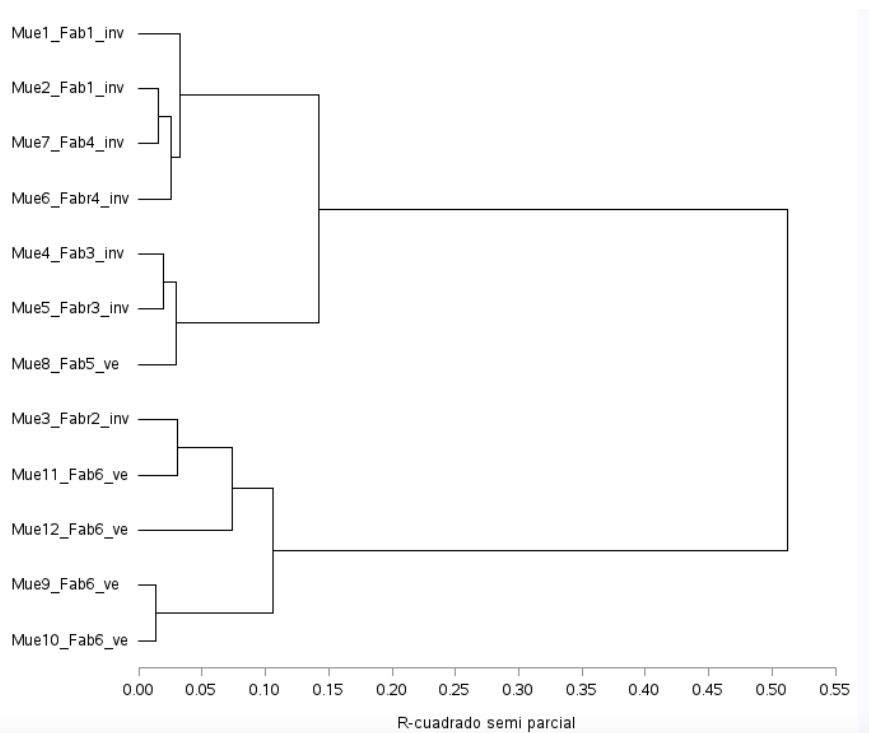


Figura 3.1.2. Dendrograma obtenido a partir del análisis cluster de la composición química de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12). [Mue: número de muestra; Fab: número de fábrica (1 a 6); inv: invierno; ve: verano].

En la Tabla 3.1.3 se representa el efecto de la época del año (confundido parcialmente con el origen) sobre la composición química de las pulpas de remolacha. Se puede ver que las pulpas obtenidas en verano se caracterizan por un menor contenido en CI ($-1.7 \pm 0.7\% \text{MS}$; $P=0.020$) y almidón ($-0.4 \pm 0.1\% \text{MS}$; $P=0.020$), pero un mayor contenido en FND ($+6.1 \pm 2.1\% \text{MS}$; $P=0.047$), principalmente relacionado con un mayor contenido en hemicelulosas insolubles ($+4.6 \pm 1.8\% \text{MS}$; $P=0.076$), a costa de un menor contenido en FSDN ($-6.4 \pm 3.2\% \text{MS}$; $P=0.069$). Estos resultados parecen indicar que, la principal diferencia entre las pulpas de remolacha evaluadas es la composición de la fibra, donde las pulpas de verano serían más ricas en fibras insolubles y las de invierno más ricas en fibras solubles, cuyo cambio en el 6% de su composición podría ser

relevante en el momento de expresar su potencial valor fermentativo y nutritivo, ya que la fracción soluble es siempre más fermentable que la insoluble (Gidenne *et al.*, 2010), evidenciando que la digestibilidad media de la FND es de solo 33%, frente al 90% de la FSDN, siendo esta última más energética para el conejo.

Tabla 3.1.3. Efecto de la época del año (invierno o verano) sobre la composición química (%MS) de las pulpas de remolacha evaluadas (n=12).

	Invierno	ES	Verano	ES	P-valor
Materia seca (MS; %)	89.36	1.17	89.32	1.20	0.9792
Cenizas totales	7.13	0.73	5.94	0.75	0.2320
Cenizas insolubles	3.51	0.46	1.82	0.48	0.0203
Proteína bruta	8.41	0.41	8.82	0.42	0.4439
Grasa bruta	1.24	0.08	1.18	0.08	0.5257
Fibra neutro detergente	36.32	2.07	42.45	2.13	0.0467
Hemicelulosas	15.89	1.78	20.46	1.83	0.0762
Fibra ácido detergente	20.43	1.06	21.98	1.09	0.2782
Celulosas	18.79	1.49	20.02	1.53	0.5296
Lignina ácido detergente	1.63	0.80	1.96	0.82	0.7531
FSDN	48.61	2.43	42.18	2.50	0.0693
Almidón	1.10	0.12	0.73	0.13	0.0442
PBFND	5.58	0.70	5.11	0.72	0.6060

SE: error estándar. FSDN: fibra soluble en detergente neutro; PBFND: proteína bruta asociada a la FND.

3.1.5. Conclusión

La pulpa granulada de remolacha procedente de la industria azucarera de España es un subproducto de alto contenido de fibra, tanto soluble como insoluble, independientemente de la región de procedencia y la temporada de cosecha; pero es una fuente poco importante en proteína cruda, aminoácidos o ácidos grasos; sin embargo, es necesario caracterizar la naturaleza química de esos carbohidratos complejos; las pulpas obtenidas en invierno (producidas en el norte), mostraron mayor contenido de FSDN y menor en FDN que las de verano (producidas en el sur), lo que podría condicionar sus valores nutritivos.

3.1.6. Referencias

- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: June 22, 2018].
- Batey, I. L. 1982. Starch analysis using thermostable alpha-amylases. *Starch-Stärke*, 34(4), 125-128.
- Carabaño, R., Badiola, I.J., Chamorro, S., Garcia, J. & Garcia-Ruiz, A.I. 2008. New trends in rabbit feeding: Influence of nutrition on intestinal health. *Span. J. Agric. Res.* 6:15-25.
- Cobos, A., de la Hoz, L., Cambero, M.I. & Ordoñez, J.A. 1995. Sugar beet pulp as an alternative ingredient of barley in rabbit diets and its effect on rabbit meat. *Meat Sci.* 39:113-121.
- De Blas, C. & Carabaño, R. 1996. A review on the energy value of sugar beet pulp for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 4: 33-36.
- De Blas, C., Mateos, G.G. & García-Rebollar, P. 2010. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. Tercera edición FEDNA, Madrid. 423pp.
- Delgado, R. Nicodemus, N., Abad-Guamán, R., Sastre, J., Menoyo, D., Carabaño, R. & García, J. 2018. Effect of dietary soluble fibre and n-6/n-3 fatty acid ratio on growth performance and nitrogen and energy retention efficiency in growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 239: 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.006>

- DePeters, E., Fadel, J., Arana, M., Ohanesian, N., Etchebarne, M., Hamilton, C., Hinders, R., Maloney, M., Old, C., Riordan, T., Perez-Monti, H. & Pareas, J. 2000. Variability in the Chemical Composition of Seventeen Selected By-Product Feedstuffs Used by the California Dairy Industry. *Prof. Anim. Sci.* 16: 69-99.
- Diario de Jerez. (2021, October 28). Arranca la campaña remolachera más temprana de la zona sur. *Azucarera*, 4. <http://www.diariodejerez.es/>
- El-Emary, F. A. A. (2017). Botanical characteristics of some sugar beet varieties (*Beta vulgaris* L): Comparative study. *Journal of Plant Production*, 8(3), 397–403. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.39985>
- Fadel, J. G., Depeters, E. J., & Arosemena, A. (2000). Composition and digestibility of beet pulp with and without molasses and dried using three methods. In *Animal Feed Science and Technology* (Vol. 85, pp. 121–129).
- Fishman, M. L., Chau, H. K., Coffin, D.R., Yadav, M. P. & Hoychkiss, A. T. 2011. Physico-chemical characterization of cellulosic fraction from sugar beet pulp. *Cellulose* 18:787-801
- Foster, B.L., Dale, B.E. & Doran-Peterson, J.B. 2001. Enzymatic hydrolysis of ammonia-treated sugar beet pulp. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 91-93: 269-282.
- Gidenne T., Carabaño R., García J. and De Blas C. 2010. Fibre digestion. In: De Blas C. and Wiseman J. (Eds). *Nutrición of the Rabbit*, 2nd edition, CAB International, Wallingford, 66–82.
- Gidenne, T. (2015). Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: A review. *Animal*, 9(2), 227–242.

- Habeed, A. A. M., Gad, A. E., El-Tarabany, A. A., Mustafa, M. M. & Atta. M. A. A. 2017. Using of sugar beet pulp by-product in farm animal feeding. *Int. J. scientific Res. Sci. Tech.* 3(3): 107-120. ISSN: 2395-6011
- Hall, M.B.; Lewis, B.A.; Van Soest, P.J.; Chase, L.E. A 1997. simple method for estimation of neutral detergent-soluble fibre. *J Sci Food Agr*, 74: 441-449.
- Hatfield, R. D., & Kalscheur, K. F. (2020). Carbohydrate and protein nutritional chemistry of forages. In K. J. Moore, M. Collins, C. J. Nelson, & D. D. Redfearn (Eds.), *Forages (The Science of Grassland Agriculture): Vol. II* (pp. 595–607). <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch33>
- Junta de Castilla y León. (2019). *Informe de final de campaña campaña remolachera Zona Norte 2018 / 2019*.
- Liu, H.J., Chang, B.Y., Yan, H.W., Yu, F.H. & Liu, X.X. 1995. Determination of amino acids in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-Nhydroxysuccinimidyl carbamate and reverse-phase liquid chromatographic separation. *J. AOAC Int.* 78: 736-744.
- Liu, K. (2022). New and improved methods for measuring acid insoluble ash. *Animal Feed Science and Technology*, 288, 115282.
- MAPA. (2022). *Datos Campaña-Remolacha Azucarera: Campaña: 2021/2022*.
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). 2018. Remolacha Azucarera. Gobierno de España. Available: www.mapama.gob.es [Consulted: 03/05/2018]
- Martínez-Vallespín, B., Navarrete, C., Martínez-Paredes, E., Ródenas, L., Cervera, C. y Blas E. 2011. Determinación de la Fibra Soluble en Detergente Neutro: Modificaciones del Método Original. AIDA. XIV Jornadas sobre Producción Animal, 1. Zaragoza: 291-293.

- Moore, K. J., Lenssen, A. W., & Fales, S. L. (2020). Factors affecting forage quality. In K. J. Moore, M. Collins, C. J. Nelson, & D. D. Redfearn (Eds.), *Forages (The Science of Grassland Agriculture): Vol. II* (pp. 701–717). <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>
- Münnich, M., Khiaosa-ard, R., Klevenhusen, F., Hilpold, A., Khol-Parisini, A., Zebeli, Q. 2017. A meta-analysis of feeding sugar beet pulp in dairy cows: effects on feed intake, ruminal fermentation, performance, and net food production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 224: 78-89. ISSN 0377-84011
- NRC. 2000. Nutrient Requirements Of Beef Cattle. (7th ed.). National Academy Press, Washington D.C. USA. 232p.
- O'Fallon, J.V., Busboom, J.R., Nelson, M.L. & Gaskins, C.T. 2007. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *J. Anim. Sci.* 85: 1511-1521.
- Omer, H.A.A., Abdel-Magid, S.S., El-Badawi, A.Y., Awadalla, I.M., Mohamed, M.I. & Zaki, M.S. 2013. Nutritional impact for the whole replacement of concentrate feed mixture by dried sugar beet pulp on growth performance and carcass characteristics of ossimi sheep. *Life Sci. J.*, 10(4): 1987-1999.
- Pereira, J.C. & González, J. 2004. Rumen degradability of dehydrated beet pulp and dehydrated citrus pulp. *Anim. Res.* 53: 99-110.
- Van Keulen, J. & Young, B.A. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as natural marker in ruminant digestibility. *J. Anim. Sci.* 44: 262-266.

Volek, Z., Skrivanova, V. & Marounek, M. 2003. Comparison of diets for growing rabbits containing potato pulp, sugar beet pulp and wheat bran: effect on performance and digestion parameter. Arch. Geflugelken, 68: 259-264.

Xiccato, G., Trocino, A., Majolini, D., Fragkiadakis, M. and Tazzoli, M. 2011. Effect of decreasing dietary protein level and replacing starch with soluble fibre on digestive physiology and performance of growing rabbits. Animal. 5(8):1179-1187.(rojo)

3.2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE PULPAS GRANULADAS DE REMOLACHA DE DIFERENTE ORIGEN EN LA DIGESTIBILIDAD Y EL VALOR NUTRITIVO DE DIETAS PARA CONEJOS DE ENGORDE

3.2.1. Resumen

Se determinó la digestibilidad de un pienso control con sustitución de 20% de pulpa granulada de remolacha (PGR) de cinco orígenes distintos para analizar el posible efecto en su valor nutritivo para conejos de engorde. Se utilizaron 90 conejos cruzados de las líneas R y V de 42 días de edad con 1.49 ± 0.208 kg de peso vivo, distribuidos en 6 grupos de alimentación, con una dieta basal (control) y 5 dietas con sustitución de 20% de PGR, en nivel *ad libitum*. La digestibilidad de los piensos y sus componentes se determinó por el método convencional *in vivo* de recolección fecal total, con animales alojados en jaulas metabólicas individuales. La digestibilidad de cada una de las pulpas de remolacha se determinó mediante el método de sustitución. No se apreció efecto de la sustitución de componentes del pienso control por el 20% de PR de diferentes procedencias en el consumo voluntario de los conejos. La inclusión de PGR en las dietas incrementó la digestibilidad de materia seca (MS), materia orgánica, energía bruta y de todas las fracciones fibrosas, pero disminuyó la digestibilidad de la proteína bruta. La procedencia de las PGR tuvo efecto ($P < 0.05$) en la digestibilidad de todas las fracciones fibrosas, siendo la PGR recolectada en verano la de mayor digestibilidad; pero, los valores fueron muy próximos y con poca dispersión, con una digestibilidad promedio de materia seca, $DMS = 61.74 \pm 1.07$ % (IC, $\alpha = 0.05$), y un contenido de energía digestible, $ED = 13.4 \pm 1.11$ MJ/kg MS (IC, $\alpha = 0.05$), recomendándose el uso de la PGR en los piensos, como fuente de fibra y energía, en la alimentación de conejos.

Palabras clave: digestibilidad, pulpa de remolacha, *Oryctolagus cuniculus*

Introducción

La digestibilidad, después de la composición química y el consumo, es el tercer criterio de evaluación del valor nutricional de los forrajes en los animales, debido a que mide la desaparición del alimento en su paso por el tracto digestivo de un animal, o la proporción del alimento o nutrientes consumidos que no aparecen en las heces; y como tal, constituye el segundo factor dietario de importancia en la producción animal debido a que define el aporte de nutrientes para el organismo animal.

El digestión cecal de la fibra en el conejo está determinada en última instancia por la actividad microbiana, el tiempo de retención de la digesta en el ciego y la composición y estructura química de la fibra (Gidenne *et al.*, 2020).

El conejo (*Oryctolagus cuniculus*) tiene muchas ventajas competitivas desde el punto de vista de alimentación por sus características digestivas, tales como la cecotofía, un mecanismo de digestión de doble ciclo que posibilita un mejor uso de los componentes fibrosos de la dieta (Wang *et al.*, 2023); sin embargo, patologías digestivas como la enteropatía epizoótica del conejo (ERE, por sus siglas en inglés), enfermedad digestiva frecuente en conejos después de destete (Bäuerl *et al.*, 2014; Badiola *et al.*, 2016; Puón-Peláez *et al.*, 2018), son responsables del 60% del total de la mortalidad en el período de engorde (de Rozas *et al.*, 2005) y de reducciones importantes en la eficacia de utilización del alimento y en el crecimiento de los animales afectados que sobreviven.

Aunque los agentes causantes todavía no se han descrito, se sabe que la enfermedad se puede controlar con antibióticos; sin embargo, procesos como la aparición de bacterias resistentes a antibióticos provocan la necesidad de desarrollar estrategias nutricionales para reducir el uso de antibióticos en los piensos de animales, lo que ha estimulado el desarrollo de investigaciones

encaminadas a potenciar el uso de la fibra como un nutriente funcional para maximizar el desarrollo y funcionalidad del organismo y prevenir patologías (Abad-Guamán *et al.*, 2017; Puón-Peláez *et al.*, 2022).

Para la fisiología digestiva del conejo, la fibra es muy importante como el principal componente de la dieta responsable de la digestión adecuada, por su incidencia positiva en la digestión y la salud intestinal (Cobos 1993; Gidenne *et al.*, 2013; Trocino *et al.*, 2013). Los niveles moderados de fibra soluble en la dieta pueden reducir la mortalidad de los conejos afectados por ERE (Trocino *et al.*, 2013; Ocasio Vega *et al.*, 2018b), mientras que un mayor contenido en fibra, tanto solubles como insolubles, o digestibles como indigestibles, mejora el estado sanitario de los animales (Martínez-Vallestín *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2019), por lo que en la actualidad las recomendaciones de niveles de fibras en los piensos para conejos de engorde suelen incluir todos los tipos de fibras (De Blas y Mateos, 2020).

La pulpa de remolacha (PR) es un subproducto abundante de la industria azucarera, rica en fibra de alta digestibilidad (De Blas *et al.*, 2002).

La adición de diferentes fuentes de fibra a las dietas de los conejos influye en el rendimiento del crecimiento, la composición de la microbiota intestinal y la composición de los metabolitos musculares de los conejos de carne. Se descubrió que existía una correlación significativa entre los rumenococos en el ciego y los metabolitos de aminoácidos en el músculo. En general, estos hallazgos indican que la AM puede afectar la salud del cuerpo al cambiar su microbiota intestinal y luego mejorar la calidad de la carne, y el eje intestino-músculo proporciona una base teórica (Liu *et al.*, 2022).

Al respecto, Santoma (1989) recomendó incluir PR en las dietas de piensos para conejos y de esta forma evitar trastornos digestivos; sin embargo, su empleo tiene como desventajas la alta variabilidad de su composición química de acuerdo con su origen (Arce *et al.*, 2019), siendo escasa y variable la información.

La inclusión de pulpas granuladas de remolacha en los piensos de conejos, dada la variabilidad de sus características químicas, relacionadas tanto con la variedad vegetal de la remolacha, como la inclusión de melazas o vinazas durante el proceso industrial en la producción del subproducto, puede tener efecto en su valor nutritivo, debido a los efectos asociativos que pueden afectar el consumo y la digestión (Niderkorn y Baumont, 2009), por lo que existe la necesidad de conocer la variabilidad en su valor nutritivo. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad en la digestibilidad de PR incluida en el pienso de conejos de engorde, utilizando para ello partidas de PR procedentes de distintas factorías productoras de azúcar.

3.2.2. Materiales y métodos

Animales

El estudio se llevó a cabo en la granja del Instituto de Ciencia y Tecnología de Producción Animal de la Universitat Politècnica de València. Los protocolos experimentales desarrollados en los conejos fueron aprobados por el Comité de Ética y Bienestar Animal de la referida Universidad. Para el experimento se utilizaron 90 conejos cruzados de las líneas R y V, de 42 días de edad con 1.49 ± 0.208 kg de peso vivo, distribuidos en 6 grupos. Los animales se colocaron en jaulas metabólicas individuales ($44 \times 52 \times 32$ cm), con paredes laterales de chapa galvanizada y varillas metálicas en el techo, piso y parte anterior, dispuestas en dos baterías lineales colocadas en un solo piso. Cada jaula estuvo provista de comedero tipo tolva de chapa galvanizada de 1.8 kg de

capacidad, ubicado en la parte anterior de la jaula, bebedero automático tipo cazoleta en la pared posterior de la jaula, recolector de orina conformado por un embudo metálico de chapa galvanizada que abarcaba toda la parte inferior de la jaula, en forma de cono invertido con terminal en bisel y un frasco de plástico, y recolector de heces consistente en su tamiz de malla milimétrica y cámara de protección, para evitar la contaminación de los crotones fecales por contacto con la orina.

Dietas experimentales

Se formularon seis dietas: una dieta basal sin PR (control), y cinco dietas experimentales (R1; R2, R3, R4 y R5, Tabla 3.2.1.); cada dieta estuvo conformada por dieta basal + sustitución de 20% de PR procedentes de cinco factorías de España (PR1, PR2, PR3, PR4 y PR5), con distintas variedades de remolacha procesada, que variaron fundamentalmente en el contenido de las distintas fracciones de fibra (Tabla 3.2.2). Todos los piensos tenían la inclusión de los mismos macrominerales, oligoelementos, vitaminas y antibióticos.

Para la formulación de las dietas se tuvo en cuenta las recomendaciones nutricionales para conejos de engorde (De Blas y Mateos, 2010). El valor nutritivo de cada dieta se muestra en la Tabla 3.2.3.

La alimentación de los conejos fue *ad libitum* durante todo el periodo experimental.

Determinación de la digestibilidad de los piensos

La digestibilidad de los piensos y sus componentes se determinó mediante el método convencional *in vivo* por recolección fecal total, con 15 animales por dieta, con un periodo de acostumbramiento de 7 días y otro de recolección de 4 días (Pérez *et al.*, 1995). Los controles diarios se realizaron a las

8:00 am. Las heces se almacenaron en bolsas de polietileno, conservadas a -20°C hasta completar la recolección. Luego se secaron en un horno de convección forzada a 60 °C hasta peso constante. Posteriormente, el material seco fue molido y tamizado a través de una zaranda de 1 mm, conservándose luego en frascos herméticamente cerrados hasta su uso para los análisis químicos correspondientes.

Tabla 3.2.1. Ingredientes (% DM) del pienso de control y de los diferentes piensos experimentales que incluían pulpas de remolacha (PR) de diferentes fábricas

Materias primas	Pienso control	Piensos con PR
Cebada de 2 carreras	29	23.1
Salvado de trigo	17	13.5
Pulpa de remolacha experimental	0	20
Melaza de remolacha	1	0.8
Harina de girasol 30	8.5	6.8
Alfalfa henificada	27	21.5
Granilla de uva	6.5	5.2
Cáscara de soja	3.3	2.6
Cáscara de avena	3.3	2.6
Oleína de soja	2	1.6
DL-Metionina	0.06	0.05
L-Lisina	0.3	0.26
L-Treonina	0.18	0.15
L-Triptófano	0.1	0.08
Carbonato cálcico	0.46	0.46
Cloruro sódico	0.5	0.5
¹ Premix L511R	0.5	0.5
² Antibióticos	0.3	0.3

¹ Corrector de vitaminas y oligoelementos (L511R; Trouw Nutrition España, S.A.): Vitamina A: 8.375 UI; vitamina D3: 750 UI; vitamina E: 20 mg; Vitamina K3: 1 mg; vitamina B1: 1 mg; vitamina B2: 2 mg; vitamina B6: 1 mg; ácido nicotínico: 20 mg; cloruro de colina: 250 mg; magnesio: 290 mg; manganeso: 20 mg; zinc: 60 mg; yodo: 1,25 mg; hierro: 26 mg; cobre: 10 mg; cobalto: 0,7 mg; mezcla de butyl hidroxilanysole y etoxiquina: 4 mg. ² Dinco-spectim (29 ppm de dincomicina + 29 ppm de espectinomicina), 120 ppm de neomicina, Apsamix Tiamulin (50 ppm de tiamulina), normalmente utilizado en granjas con una alta incidencia de enteropatía epizoótica.

Tabla 3.2.2. Composición química (% en base a materia seca) de las 5 pulpas de remolacha (PR) utilizadas en la formulación de los piensos experimentales.

Indicador	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5
Cenizas	8.4	5.6	6.8	7.4	7.2
Proteína bruta (PB)	9.5	8.4	8.0	8.9	8.6
PB vinculada a la FND	4.0	6.2	6.1	8.3	5.2
Almidón	1.1	1.5	1.2	0.9	0.5
Grasa bruta	1.1	1.3	1.4	1.2	1.0
Fibra neutro detergente (FND)	35.2	36.7	37.1	43.2	41.3
Fibra ácido detergente	19.2	20.9	23.3	22.3	23.6
Lignina ácido detergente	3.3	3.4	2.53	3.8	2.91
Fibra soluble en detergente neutro	44.8	49.1	53.4	46.3	35.9

Tabla 3.2.3. Composición química (%MS) de los piensos control y experimentales con la adición de un 20% de pulpa de remolacha de diferentes fábricas (de R1 a R5).

	Pensos					
	Control	R1	R2	R3	R4	R5
Materia seca (MS; %)	90.84	90.98	90.99	90.85	90.89	90.52
Cenizas	7.40	7.13	7.11	7.41	7.56	7.44
Proteína bruta (PB)	14.36	13.13	12.79	13.14	13.10	13.49
PB vinculada a la FND	2.22	2.98	3.81	4.16	3.57	3.50
Almidón	18.07	13.91	13.70	14.04	13.50	14.50
Grasa bruta	4.37	3.69	3.87	3.95	4.07	3.53
Energía bruta (MJ/kg MS)	18.85	18.79	18.75	18.50	18.70	18.39
Fibra neutro detergente (FND)	37.81	38.40	36.77	36.90	38.87	38.76
Fibra ácido detergente	20.35	20.97	20.48	20.88	21.25	21.38
Lignina ácido detergente	5.76	4.86	4.98	5.08	5.09	5.18
Hemicelulosas	17.46	17.43	16.29	16.02	17.62	17.38
Celulosas	14.59	16.11	15.50	15.80	16.16	16.20
Fibra soluble en detergente neutro	13.25	17.42	15.40	16.95	15.19	16.65

La digestibilidad fecal aparente (*d*) de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), energía bruta (EB), proteína bruta (PB), grasa bruta (GB), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), hemicelulosas (HE), celulosas (CE) y fibra soluble en detergente neutro (FSDN) de cada uno de los piensos, se determinó la mediante la siguiente fórmula:

$$d\text{Nutriente (\%)} = \frac{\text{Nutriente ingerido (g)} - \text{Nutriente excretado (g)}}{\text{Nutriente ingerido (g)}} \times 100$$

Análisis químicos

Los análisis químicos de las PR, piensos y heces se realizaron por los métodos oficiales de la AOAC (2016) para MS (934.01), cenizas (942.05), PB y PB ligada a fibra detergente neutro (PBFND; 976.06) y GB (920.39). Las FND, FAD y LAD fueron determinadas de forma secuencial. También se determinó el contenido en almidón (AL) de acuerdo con Batey (1982) y la FSDN por el método de Hall *et al.* (1997) adaptado al sistema de bolsas de nylon según lo descrito por Martínez-Vallespín *et al.*, (2011). El contenido de hemicelulosas se estimó por diferencia entre FND y FAD y el de celulosa por diferencia entre FAD y LAD. La EB se determinó por combustión en bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp) siguiendo las recomendaciones de EGRAN (2001).

El contenido de proteína digestible (PD, % MS) y de energía digestible (ED, MJ/kg MS) de cada una de las cinco pulpas de remolacha utilizadas en los piensos experimentales se calcularon según el método de sustitución (Villamide *et al.*, 2001), que se basa en el principio de adición de las distintas materias primas que se incluyen en el pienso ponderadas según su porcentaje de inclusión, y responde a la siguiente fórmula matemática:

$$DPR_x = (DR_x - (DC \times 0.8)) / 0.2$$

donde, DPR_x es la ED (MJ/kg MS) o PD (%MS) de la pulpa de remolacha x (del 1 al 5), DR_x es la ED (MJ/kg MS) o PD (%MS) del pienso R_x (del 1 al 5) que contenía la PR_x , y DC es la ED (MJ/kg MS) o PD (%MS) del pienso control.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza en diseño completamente aleatorizado, utilizando el procedimiento GLM del SAS (SAS

2010), en un nivel de significación de $\alpha = 0.05$. El modelo incluyó los seis tratamientos (control, R1, R2, R3, R4 y R5) y la tanda (1 y 2) como únicos factores fijos.

3.2.3. Resultados y discusión

Digestibilidad de los piensos

Los animales se mantuvieron saludables durante todo el experimento, sin ningún tipo de signo de enfermedad, con un incremento de peso de 50 g día^{-1} , el mismo que es un valor adecuado para la edad de estos animales. Dos conejos fueron retirados del experimento por mostrar signos de disfunción digestiva, con adecuación a las recomendaciones de Pérez *et al.* (1995).

En la tabla 3.2.4. se muestran los resultados obtenidos en cuanto a ingestión y digestibilidad fecal aparente de los piensos experimentales durante el periodo experimental (49 a 53 días de vida). No se apreció efecto de la sustitución de componentes de la mezcla base por el 20% de PR de diferentes procedencias en el consumo voluntario de los conejos ($P > 0.05$).

En general, la inclusión de PR aumentó la digestibilidad aparente de la MS, MO y EB de la dieta ($P < 0.001$), lo que parece ser una consecuencia del incremento de la digestibilidad de todas las fracciones fibrosas (FND, FAD, celulosas, hemicelulosas y FSDN, respecto a la dieta control.

Tabla 3.2.4. Efecto de la sustitución del 20% de la pulpa granulada de remolacha de diferentes fábricas (R1 a R5) en la mezcla base, sobre la ingestión (g/día) y la digestibilidad fecal aparente (%) en conejos de engorde (media \pm error estándar).

	Control	R1	R2	R3	R4	R5	P-valor
MSI	139.0 \pm 3.7	120.0 \pm 5.6	126.0 \pm 5.9	136.0 \pm 5.6	131.0 \pm 5.6	131.0 \pm 5.4	0.1089
dMS	59.3 \pm 0.5 ^a	61.6 \pm 0.7 ^{bc}	62.9 \pm 0.7 ^c	61.4 \pm 0.7 ^{bc}	60.0 \pm 0.7 ^{ab}	62.8 \pm 0.7 ^c	<0.001
dMO	59.3 \pm 0.5 ^a	62.1 \pm 0.7 ^{bc}	63.2 \pm 0.7 ^c	61.6 \pm 0.7 ^{bc}	60.2 \pm 0.7 ^{ab}	62.6 \pm 0.7 ^c	<0.001
dEB	58.0 \pm 0.4 ^a	61.6 \pm 0.7 ^c	62.1 \pm 0.7 ^c	60.6 \pm 0.7 ^{bc}	59.4 \pm 0.7 ^{ab}	61.3 \pm 0.7 ^{bc}	<0.001
dPB	72.1 \pm 0.7 ^c	68.9 \pm 1.0 ^{ab}	69.6 \pm 1.1 ^{abc}	68.9 \pm 1.0 ^{ab}	68.6 \pm 1.0 ^a	71.7 \pm 1.0 ^{bc}	0.0143
dFND	22.4 \pm 0.7 ^a	30.9 \pm 1.1 ^{cd}	30.2 \pm 1.2 ^{bcd}	26.9 \pm 1.1 ^b	28.4 \pm 1.1 ^{bc}	31.9 \pm 1.1 ^d	<0.001
dFAD	11.5 \pm 0.9 ^a	18.5 \pm 1.4 ^b	19.2 \pm 1.4 ^b	14.9 \pm 1.4 ^{ab}	16.0 \pm 1.4 ^b	18.3 \pm 1.3 ^b	<0.001
dHEM	35.3 \pm 0.8 ^a	45.9 \pm 1.3 ^{bc}	44.1 \pm 1.3 ^{bc}	42.4 \pm 1.3 ^b	43.2 \pm 1.3 ^b	46.9 \pm 1.2 ^c	<0.001
dCEL	16.6 \pm 1.1 ^a	24.5 \pm 1.7 ^{bc}	24.4 \pm 1.8 ^{bc}	18.5 \pm 1.7 ^a	19.8 \pm 1.7 ^{ab}	26.7 \pm 1.6 ^c	<0.001
dFSND	64.5 \pm 0.4 ^a	72.8 \pm 0.6 ^c	72.8 \pm 0.6 ^c	74.6 \pm 0.6 ^c	69.1 \pm 0.6 ^b	74.1 \pm 0.5 ^c	<0.001

^{abcd} Las medias con diferentes letras en la misma fila son significativamente diferentes (P<0.05).

MSI=ingesta de materia seca; dMS = digestibilidad de la materia seca; dMO = digestibilidad de la materia orgánica; dEB = digestibilidad energía bruta; dPB = digestibilidad de la proteína bruta; dFND = digestibilidad de la fibra neutro detergente; dFAD = digestibilidad de la fibra ácido detergente; dCEL = digestibilidad de la celulosa; dHEM = digestibilidad de la hemicelulosa; dFSND = digestibilidad de la fibra soluble en detergente neutro.

Los incrementos de la digestibilidad fueron variables según la partida de PR incluida en la dieta. La *dMS* y *dMO* aumentó entre 2 a 5 puntos porcentuales y la *dEB* entre 2 y 7 puntos al incluir la PR, excepto en la dieta R4, cuyo aumento no fue significativo respecto a la dieta control y que contenía la PR con los mayores valores de FND y LAD.

La digestibilidad de la fracción de fibra soluble fue significativamente mayor (P<0.005) en todos los piensos R, frente al pienso control. Los piensos con PR de mayor contenido en FSDN registraron mayores incrementos de la digestibilidad (13 puntos para R1 y R2, y 16 puntos para R3), con la excepción de R4, que registró el menor incremento (7 puntos) a pesar de tener un valor alto en FSDN, y del pienso R5, con un incremento de 16 puntos, a pesar de tener el menor contenido en FSDN.

La digestibilidad de la fracción FSDN puede verse afectada por interacciones con la secreción de mucina intestinal (Abad-Guamán *et al.*, 2015), aunque también puede estar afectada por el propio método analítico de esta fracción, ya que los incrementos de dicha fracción en los piensos experimentales han sido inferiores a los esperados (entre -6 puntos porcentuales para R5 y, -25 puntos para R2) atendiendo a la concentración de FSDN obtenida en el análisis de las materias primas, por lo que sería deseable revisar el valor real de esta determinación. Varios autores han registrado los incrementos en la digestibilidad de las fracciones fibrosas de los piensos al incluir proporciones variables de PR (De Blas y Villamide 1990, García *et al.*, 1993, Carabaño *et al.*, 1997, Gidenne y Jehl 1996, Falcao-e-Cunha *et al.*, 2004, Gómez-Conde *et al.*, 2007 y 2009, Xiccato *et al.*, 2011 y Trocino *et al.*, 2013), mostrando mucha variabilidad en los valores de digestibilidad de las distintas fracciones.

La composición química de las fracciones fibrosas de la PR es muy compleja porque incluye grupos de moléculas muy diferentes (Gidenne, 2003; Glaser *et al.*, 2022), y la fibra de la PR tiene unas características particulares, como son el alto valor de FSDN, pero también de polisacáridos no amiláceos solubles e insolubles y de otros carbohidratos no solubles en agua de la pared celular, tales como algunas pectinas (Gidenne *et al.*, 2010), cuya digestibilidad puede ser muy variable, tanto en íleon como en ciego. Por ello, parece que la separación analítica de las fracciones fibrosas en solubles y no solubles en detergente neutro no es suficiente para interpretar la variabilidad en la digestión de los componentes fibrosos, principales fracciones de la PR, por lo que sería necesario un análisis más preciso que valore grupos químicos concretos.

En acuerdo con lo registrado por otros autores, la incorporación de PR a la dieta disminuyó la *dPB* respecto al pienso control ($P < 0.05$). Las PR se caracterizan por tener un bajo contenido en PB (de media 8.7%MS), que además

la mayor parte de dicha PB está ligada a la fracción FND (6.0%MS), lo que dificulta su digestión (Arce *et al.*, 2019). De hecho, la *dPB* fue especialmente menor en el pienso R4 que incluyó la pulpa con mayor PB asociada a la FND (PR4).

El contenido en PD de las diferentes PR fue bajo (Tabla 3.2.5.), debido fundamentalmente a su escaso valor en PB, pero también a que variaron significativamente los coeficientes de digestibilidad entre las distintas PR ($P < 0.05$), con valores mayores en la PR5, cuyo pienso registró una alta digestibilidad para la PB, observada para los piensos que incluyeron PR y similar a la del pienso control.

Tabla 3.2.5. Valor nutritivo de las pulpas de remolacha (PR) evaluadas en conejos de engorde.

	Origen de la PR					SE	P-valor
	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5		
PD (%)	4.5 ^a	3.8 ^a	5.0 ^{ab}	4.2 ^a	6.6 ^b	0.6	0.0306
ED (MJ/kg MS)	14.1 ^{cb}	14.5 ^c	12.3 ^{ab}	11.8 ^a	14.2 ^c	0.6	0.0101

DP=proteína digerible; DE = energía digerible; SE = error estándar

El contenido de energía digestible de las pulpas evaluadas (Tabla 3.2.5.) estuvo en el rango de valores de energía digestible reportado para este subproducto por otros autores, cuyo valor promedio en conejos fue de 12.4 MJ kg⁻¹ DM (de Blas y Villamide, 1990), 12.52 MJ/kg MS (Papadomichelakis *et al.*, 2004), que es mayor al contenido de energía digestible de la alfalfa deshidratada (*Medicago sativa*), la fuente de fibra de mayor uso en dietas de conejos, en el cual el contenido promedio fue reportado como 8.9 MJ kg⁻¹ MS (Fernández-Carmona *et al.*, 1998), y que representa cerca del 50 % de la EB contenida en las dietas consumidas por el conejo (Machado *et al.*, 2012).

Pero el origen de la PR también afectó significativamente a los valores de ED ($P < 0.05$), siendo más alto en las muestras de PR1, PR2 y PR5 (de media

14.3 MJ ED/kg MS), respecto a las PR3 y PR4 (de media 12.1 MJ ED/kg MS). Otros estudios han encontrado alta variabilidad del contenido de ED de PR utilizadas en la alimentación de conejos (9.6 a 14.2 MJ kg⁻¹ MS), que atribuyen al tipo de dieta basal o al nivel de inclusión de este subproducto en la dieta (De Blas y Carabaño 1996). A partir de la información disponible, estos autores sugirieron un valor de 10.5 MJ/kg MS para este subproducto, para un nivel de inclusión del 15%; sugiriendo que este subproducto sea considerado como un concentrado energético para conejos, debido a su contenido de fibra altamente digestibles (De Blas *et al.*, 2003). Sin embargo, ese valor puede variar de acuerdo con el tipo de dieta basal y el nivel de inclusión en la dieta. Al 15 % de inclusión, García *et al.* (1993) obtiene valores de ED de 9.6 MJ/kg MS para las PR, mientras que al 40 % de sustitución el valor incrementó a 12.3 MJ/kg MS (Maertens y De Groote 1984), y cuando la pulpa se ofrece sola el valor alcanzó los 14.2 MJ/ kg MS (Martínez y Fernández 1980), evidenciando que el contenido de ED de PR podría variar en relación directa con el nivel de sustitución. Esto podría estar relacionado, con un aumento de la retención en el ciego, ya que la inclusión de PR fomenta el crecimiento del área fermentativa (Caísin *et al.*, 2020). Sin embargo, no se recomienda niveles de sustitución superiores al 30% porque afecta el consumo y rendimiento de los conejos (García *et al.*, 1993 y De Blas y Carabaño 1996).

En el presente trabajo se ha utilizado una misma dieta basal y un solo nivel de inclusión de PR, observándose una gran variabilidad en los coeficientes de digestibilidad para la EB, lo que parece indicar que el origen de la PR también afecta al valor de ED, lo que parece lógico dadas las diferencias de composición química de las propias PR, especialmente con los diferentes contenidos en fracciones fibrosas y, posiblemente, también con la naturaleza química de las mismas. Algunos estudios han mostrado que la digestibilidad disminuye con el

incremento de los niveles de la pulpa remolacha en la dieta, con la mayor disminución en la dieta con 50% inclusión, y consecuentemente, los valores de nutrientes digestibles totales mostraron la misma tendencia (Abedo *et al.*, 2012).

La PR5 registró un alto contenido en ED y PD, coincidiendo con mayores coeficientes de digestibilidad de todas las fracciones fibrosas, tanto solubles como insolubles, y de la PB. Esto podría estar relacionado con el origen de esta PR, dado que esta muestra fue la única PR obtenida de variedades que se recolectan en verano, y que presentan las mayores diferencias en el tipo de fibras que contienen (Arce *et al.*, 2019).

Los menores valores de ED corresponden a las PR3 y PR4, que se correspondieron también con los menores coeficientes de digestibilidad de las fibras insolubles y, en el caso de la PR4 también de la fibra soluble (Tabla 3.2.4). La baja digestibilidad de la FND en los piensos incluyendo la PR3 respecto a las PR1 y PR2 y de la FSDN de la PR4 frente a las PR1, PR2 y PR3, todas ellas variedades recolectadas en invierno, se contradice con su composición en estas fracciones y con los altos valores de degradabilidad informados por otros autores (Fernández-Carmona *et al.*, 1996 y De Blas *et al.*, 2002), y se pudo deber a particularidades del proceso industrial de extracción en dichas industrias (Arce *et al.*, 2019).

Los aumentos de los coeficientes de digestibilidad encontrados en este trabajo al incluir un 20% de PR frente al pienso control concuerdan con los estudios realizados hasta el momento, donde se han mostrado que la PR es un subproducto de fácil digestión por la flora microbiana del ciego, alcanzando valores de digestibilidad superiores al 80%, como consecuencia de la rápida degradación de los azúcares y las pectinas, y su bajo contenido de lignina (Gidenne, 2003).

A pesar de la limitada información sobre la digestibilidad de la fibra de PR, existe consenso en que este componente es muy importante en la eficiencia fermentativa y la salud cecal del conejo (García *et al.*, 2000, Belenguer *et al.*, 2012, De Blas, 2013; Gidenne, 2015). La incorporación de niveles moderados de fibra soluble en los piensos, mediante la incorporación de PR, mejora la morfología y funcionabilidad de la mucosa intestinal del conejo (El Abed *et al.*, 2011). Este efecto positivo podría estar relacionado tanto por su aporte en fibra soluble como por su contenido de fibra insoluble fermentable, especialmente a nivel ileal (Abad-Guamán *et al.*, 2015). La hidrólisis de las fracciones fibrosas libera azúcares de bajo peso molecular (oligosacáridos-disacáridos) en el intestino grueso (Pedersen *et al.*, 2015), cuya fermentación modifica el perfil de la microbiota y mejora en algunos casos la salud de los animales (Ocasio Vega *et al.*, 2015, 2018a).

A pesar de los resultados evidentes, la interpretación de la digestibilidad de la fibra se complica conforme se va conociendo más a fondo la complejidad de compuestos que se incluyen en las fracciones fibrosas, y que hacen surgir otros conceptos, tales como fibra dietaria total (TDF), fibra dietaria insoluble y fibra soluble y su importancia en la nutrición y la salud digestiva de los conejos (Trocino *et al.*, 2013), donde la fibra soluble forma parte de TDF que incluye sustancias pécticas, β -glucanos, fructanos y gomas, y excluye el almidón y la FND (Hall, 2003).

A partir del valor promedio de EB de PR (17.781 ± 0.198 MJ/kg MS), estimado con adecuación a la ecuación de Nehring y Haenlein (1973), y su valor promedio de ED (12.757 ± 0.787 MJ/kg MS) obtenido en este ensayo, se estima que este subproducto de la industria azucarera tiene una alta eficiencia de uso de la EB ($k = 0.717 \pm 0.044$, coeficiente de variación = 6.1%), confirmando su bondad como fuente de energía para el conejo; lo cual es lógico, dado que está formado

por una alta proporción de fibra soluble que promueve la fermentación cecal y mejora la digestibilidad en el conejo (Falcao-E-Cunha *et al.*, 2004, Gómez-Conde *et al.*, 2009, Xiccato *et al.*, 2011 y Maertens *et al.*, 2014).

3.2.4. Conclusiones

La pulpa granulada de remolacha de diferentes fábricas, en sustitución de 20% en la dieta base, tiene una buena digestibilidad de la materia seca y de todos sus componentes, significativamente diferentes entre las diferentes procedencias, pero con valores muy próximos entre sí, con una mínima dispersión, por lo que es razonable establecer un valor central de 61.7 ± 1.07 % (IC, $\alpha = 0.05$). El valor energético de la pulpa de remolacha, expresado en términos de energía digestible (ED), en el nivel de 20% de sustitución en la dieta base, es similarmente significativo entre las diferentes fábricas, con valores muy próximos y con mínima dispersión, estableciéndose un valor central de $ED = 13.4 \pm 1.11$ MJ/kg MS (IC, $\alpha = 0.05$). Se recomienda incluir la pulpa granulada de remolacha en los piensos, como fuente de fibra y energía, en la alimentación de conejos, a fin de mejorar de forma general y el valor nutritivo de los piensos.

3.2.5. Referencias

- Abad-Guamán, R. Carabaño, R. Gómez-Conde, M. S. & García, J. 2015. Effect of type of fiber, site of fermentation, and method of analysis on digestibility of soluble and insoluble fiber in rabbits. *J. Anim. Sci.* 93 (6): 2860–2871. doi:10.2527/jas2014-8767, ISSN:1525-3163 (web)
- Abad-Guamán, R., Delgado, R., Ocasio Vega, C., Nicodemus, N., Carabaño, R. & García, J. 2017. Fibra soluble y fermentable para mejorar salud intestinal en conejos. *Boletín de Cunicultura* 186: 38-40. ISSN: 1696-6074
- Abedo, A. A., El-Badawi, A. Y., & Hassan, A. A. (2012). Sugar beet pulp as an energetic feed in growing rabbit diets. *Egyptian J. Nutrition and Feeds*, 15(3), 513–522.
- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN:978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: June 22, 2018].
- Arce O., Alagón G., Ródenas L., Martínez-Paredes E., Moya V.J., Pascual J.J., & Cervera C. 2019. Efecto de la época de cosecha en las características químicas de la pulpa de remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) granulada. Nota técnica. *Cuban J. Agric. Sci.*, 53 (1): 1-7, ISSN: 2079-3480
- Badiola, I., de Rozas A., González, J. Aloy, N. García, J. & Carabaño, R. 2016. Recent advances in ERE in growing rabbits. In: Proceedings 11th World Rabbit Congress. Eds. Qin, Y., F. Li, T. Gidenne. 15-18 June, Qingdao, China. ISSN 2308-1910

- Batey, I. L. 1982. Starch analysis using thermostable alpha-amylases. *Starch-Stärke*, 34(4), 125-128.
- Bäuerl, C., Collado, M.C., Zúñiga, M., Blas, E. & Pérez Martínez, G. 2014. Changes in cecal microbiota and mucosal gene expression revealed new aspects of epizootic rabbit enteropathy. *PloS One* 9: e105707. doi: 10.1371/journal.pone.0105707, ISSN: 1932-6203
- Belenguer, A., Abecia, L., Belanche, A., Milne, E. & Balcells, J., 2012. Effect of carbohydrate source on microbial nitrogen recycling in growing rabbits. *Livest. Sci.*, 150 (1-3): 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.005>, ISSN:1871-1413
- Caisín, L., Martínez-Paredes, E., Rodenas, L., Moya, V. J., Pascual, J. J., Cervera, C., ... & Pascual, M. 2020. Effect of increasing lignin in isoenergetic diets at two soluble fibre levels on digestion, performance and carcass quality of growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 262, 114396.
- Carabaño R., De Blas C., García J., Nicodemus N. & Pérez de Ayala P. 1997. Necesidades de fibra. XIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid. 16 p.
- Carabaño, R. & Fraga, M.J., 1992. The use of local feeds for rabbits. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires* N° 17, 141 – 158. ISSN: 1811-3419
- Cobos, A., 1993. Influencia de la dieta en la composición lipídica de la carne de conejos. PhD. Thesis. Universidad Complutense de Madrid. 256 pp.
- De Blas C. & Villamide M. J. 1990. Nutritive value of beet pulp for rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 31 (3–4), 239-246. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90128-U](https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90128-U), ISSN: 0377-8401
- De Blas, C. & Mateos, G.G. 2010. Feed formulation. En: de Blas, C., and

Wiseman, J. (eds). Nutrition of the Rabbit, 2nd Edition. Cabi, Cambridge. 222-232. ISBN 978-1-84593-669-3

De Blas, C. D., Mateos, G. G. 2020. Feed formulation. In Nutrition of the Rabbit (pp. 243-253). Wallingford UK: Cab International. <https://doi.org/10.1079/9781789241273.0243>

De Blas, C. y Carabaño, R. 1996. A Review on the Energy value of Sugar Beet Pulp for Rabbits. World Rabbit Sci., 4 (1), 33-36. <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.268>, ISSN: 1257-5011

de Blas, C., & Villamide, M. J. (1990). Nutritive value of beet and citrus pulps for rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 31, 239–246.

De Blas, C., García, J., Gómez-Conde, S. & Carabaño, R. 2002. Restricciones a la formulación de piensos para minimizar la patología digestiva en conejos. XVIII curso de especialización FEDNA, Barcelona, FEDNA, 163: 73- 93

De Blas, C., Mateos, G.G. and García-Rebollar, P. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Segunda edición. FEDNA, Madrid: 296-299.

De Blas, J. C. 2013. Nutritional impact on health and performance in intensively reared rabbits. *Animal*, 7 (s1): 102-111. doi: 10.1017/S1751731112000213, ISSN: 1751-732X (Online)

De Rozas, A.M.P., Carabaño, R., García, J., Rosell, J., Cano, J. V.D., García, J.B., Rosell, J., Díaz, J.V., Barbé, J., Pascual, J.J. & Badiola, I. 2005. Etiopatogenia de la enteropatía epizoótica del conejo. In: Actas XXX Symposium de Cunicultura: Valladolid, 19 y 20 de mayo de 2005: 167-174.

EGRAN. 2001. Technical note: Attempts to harmonize chemical analyses of feeds

and faeces for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci.*, 9 (2): 57-64. <https://doi.org/10.4995/wrs.2001.446>, ISSN: 1257-5011

El Abed, N., Delgado, R., Abad, R, C. Romero, C., Villamide, M. J., Menoyo, D., Carabaño, R. & García, J. 2011. Soluble and insoluble fibre from sugar beet pulp enhance intestinal mucosa morphology in young rabbits. In: Proc. 62nd Annual meeting of the European Federation (Stavanger, Norway) of Animal Science, Book of abstracts. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. p. 159. DOI: 10.3920/978-90-8686-731-8, ISBN: 978-90-8686-177-4

Falcao-E-Cunha, L., Peres, H., Freire, J. P. & Castro-Solla, L. 2004. Effects of alfalfa, wheat bran or beet pulp, with or without sunflower oil, on caecal fermentation and on digestibility in the rabbit. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 117 (1-2): 131-149. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.07.014>, ISSN: 0377-8401

Fernández-Carmona, J., Bernat, F., Cervera, C. & Pascual, J. J. 1998. High lucerne diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 6 (2): 237-240. <https://doi.org/10.4995/wrs.1998.350>, ISSN: 1257-5011

Fernández-Carmona, J., Cervera, C. & Blas, E. 1996. Prediction of the energy value of rabbits feeds varyng widely in fibre content. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 64 (1): 61-75. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01041-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01041-3), ISSN: 0377-8401

Fraga, M., Pérez, de Ayala, P., Carabaño, R. & De Blas, J C. 2011. Effect of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of soft feces to nutrient intake of finishing rabbits. *J. Anim. Sci.*, 69 (4): 1566-1574. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3111>

org/10.2527/1991.6941566x, ISSN:1525-3163

García, G., Galvez, J. F. & de Blas, J. C. 1993. Effect of substitution of sugar beet pulp for barley in diets for finishing rabbits on growth performance and on energy and nitrogen efficiency. *J. Anim. Sci.*, 71 (7): 1823-1830. <https://doi.org/10.2527/1993.7171823x>, ISSN:1525-3163 (web)

García, J., Carabaño, R., Pérez-Alba, L. & de Blas, J. C. 2000. Effect of fiber source on cecal fermentation and nitrogen recycled through cecotrophy in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 78 (3): 638-646. <https://doi.org/10.2527/2000.783638x>, ISSN:1525-3163 (web)

Gidenne, T. & Jehl, N. 1996. Replacement of starch by digestible fibre in the feed for the growing rabbit. 1. Consequences for digestibility and rate of passage. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 61 (1-3): 183-192. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00937-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00937-X), ISSN: 0377-8401

Gidenne, T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livest. Prod. Sci.*, 81 (2-3):105-117. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00301-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00301-9), ISSN: 0301-6226

Gidenne, T. 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9 (2): 227-242. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002729>, ISSN: 1751-732X (Online)

Gidenne, T., Carabaño, R., García, J. & de Blas, C. 2010. Fibre digestion. En: de Blas, C., and Wiseman, J. (eds). *Nutrition of the Rabbit*, 2nd Edition. Cabi,

Cambridge. 66-82. ISBN 978-1-84593-669-3

Glaser, S. J., Abdelaziz, O. Y., Demoić, C., Galbe, M., Pyo, S. H., Jensen, J. P., & Hatti-Kaul, R. (2022). Fractionation of sugar beet pulp polysaccharides into component sugars and pre-feasibility analysis for further valorisation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02699-4>

Gómez-Conde, M. S., Garcia, J., Chamorro, S., Eiras, P., Rebollar, P. G., Pérez de Rozas, A., Badiola, I., de Blas, C. & Carabaño, R. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 85 (12): 3313-3321. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-777>, ISSN:1525-3163 (web)

Gómez-Conde, M.S., Pérez de Rozas, A., Badiola, I., Perez-Alba, L., de Blas, C., Carabaño, R. & García, J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest. Sci.*, 125 (2):192-198. DOI: 10.1016/j.livsci.2009.04.010, ISSN: 1871-1413

Hall, M.B. 2003. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. *J. Anim. Sci.*, 81 (12): 3226-3232. <https://doi.org/10.2527/2003.81123226x>, ISSN:1525-3163 (web)

Hall, M.B.; Lewis, B.A.; Van Soest, P.J.; Chase, L.E. A 1997. simple method for estimation of neutral detergent-soluble fibre. *J Sci Food Agr*, 74: 441-449.

Liu, B., Cui, Y., Ali, Q., Zhu, X., Li, D., Ma, S., Wang, Z., Wang, C., & Shi, Y. (2022). Gut microbiota modulate rabbit meat quality in response to dietary fiber. *Frontiers in Nutrition*, 9, 849429.

Machado, L. C., Ferreira, W. M. & Scapinello, C. 2012. Apparent digestibility of

simplified and semi-simplified diets, with and without addition of enzymes, and nutritional value of fibrous sources for rabbits. *R. Bras. Zootec.*, 41 (7): 1662-1670. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982012000700015>, ISSN 1806-9290 (On line)

Maertens, L. y De Groote, G. 1984. Digestibility and digestible energy of a number of feedstuffs for rabbits. In: *Proc. 3rd World Rabbit Congress*, pp 244-251, Roma.

Maertens, L., Guermah, H. & Trocino, A. 2014. Dehydrated chicory pulp as an alternative soluble fibre source in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 22 (2): 97-104. <https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1540>, ISSN: 1257-5011

Martínez, J. & Fernández J. 1980. Composition, digestibility, nutritive value and relation among them of several feeds for rabbits. In: *Proc. 2nd World Rabbit Congress*, pp 214-223. Barcelona.

Martínez-Vallespín, B., Martínez-Paredes, E., Ródenas, L., Moya, V.J., Cervera, C., Pascual, J.J. & Blas, E. 2013. Partial replacement of starch with acid detergent fiber and/or neutral detergent soluble fiber at two protein levels: Effects on ileal apparent digestibility and caecal environment of growing rabbits. *Livest. Sci.*, 154 (1-3): 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.012>, ISSN: 1871-1413

Martínez-Vallespín, B., Navarrete, C., Martínez-Paredes, E., Ródenas, L., Cervera, C. & Blas, E. 2011. Determinación de la Fibra Soluble en Detergente Neutro: Modificaciones del Método Original. In: *Proc. AIDA. XIV Jornadas sobre Producción Animal*, 1. Zaragoza, 291-293. ISBN Obra C.: 978-84-615-0062-8

- Nehring, K. y Haenlein, G. F. W. 1973. Feed evaluation and ration calculation based on net energy fat. *J. Anim. Sci.*, 36 (5): 949-964. ISSN: 1525-3163 (web)
- Niderkorn, V., & Baumont, R. (2009). Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, 3(7), 951–960.
- Ocasio-Vega, C., Abad Guamán, R., Kimiaetalab, M.V., Kühn, G., Vanegas, J., Delgado, R., Menoyo, D., Nicodemus, N., Carro, M.D, Carabaño, R.M. & García, J. 2015. Efecto del nivel de fibra soluble y de la suplementación con celobiosa sobre los rendimientos productivos en conejos en cebo. In: "XL Symposium de Cunicultura de ASESCU", 28-25 de mayo de 2015, Santiago de Compostela. p. 4. ISBN: 978-84-92928-42-2
- Ocasio-Vega, C., Abad-Guamán, R., Delgado, R., Carabaño, R., Carro, M. D. & García, J. 2018a. Effect of cellobiose supplementation and dietary soluble fibre content on in vitro caecal fermentation of carbohydrate-rich substrates in rabbits. *Archives Anim. Nutr.*, 72 (3): 221-238. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1458459>, ISSN: 1745-039X
- Ocasio-Vega, C., Delgado, R., Abad-Guamán, R., Carabaño, R., Carro, M.D., Menoyo, D. & García, J. 2018b. The effect of cellobiose on the health status of growing rabbits depends on the dietary level of soluble fiber. *J. Anim. Sci.*, 96 (5), 1806- 1817. doi: 10.1093/jas/sky106, ISSN: 1525-3163 (web)
- Papadomichelakis, G., Fegeros, K. & Papadopoulos, G. 2004. Digestibility and nutritive value of sugar beet pulp, soybean hulls, wheat bran and citrus pulp in rabbits. *Epitheorese-Zootehnikes-Epistemes*, 32:15-27. ISSN: 1413-5736
- Pedersen, M.B., Yu, S., Arent, S., Dalsgaard, S., Bach Knudsen, K.E. & Lærke, H.N. 2015. Xylanase increased the ileal digestibility of nonstarch

polysaccharides and concentration of low molecular weight nondigestible carbohydrates in pigs fed high levels of wheat distillers dried grains with solubles. *J. Anim Sci.* 93 (6): 2885–2893. doi: 10.2527/jas.2014-8829, ISSN: 1525-3163

Pérez, J. M., Lebas, F., Gidenne, T., Maertens, L., Xiccato, G., Parigi-Bini, R., Dalle Zotte, A., Cossu, M. E., Carazzolo, A., Villamide, M. J., Carabaño, R., Fraga, M. J., Ramos, M. A., Cervera, C., Blas, E., Fernandez, J., Falcao E Cunha, L. & Bengala Freire, J. 1995. European reference method for in vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 3 (1): 41-43. <https://doi.org/10.4995/wrs.1995.239>, ISSN: 1257-5011

Puón-Peláez, X. H. D., McEwan, N. R., Álvarez-Martínez, R. C., Mariscal-Landín, G., Nava-Morales, G. M., Mosqueda, J., & Olvera-Ramírez, A. M. (2022). Effect of feeding insoluble fiber on the microbiota and metabolites of the caecum and feces of rabbits recovering from epizootic rabbit enteropathy relative to non-infected rabbits. *Pathogens*, 11(5), 571.

Puón-Peláez, X.-H., McEwan, N., & Olvera-Ramírez, A. (2018). Epizootic rabbit enteropathy (ERE): A review of current knowledge. *European Scientific Journal*, 14(36), 137–149.

Santoma, G. 1989. Últimos avances en la alimentación del conejo. *Boletín de cunicultura*, 46: 19 – 39. ISSN: 1696-6074 SAS. 2010. User's guide: statistics version 9.2. (32) Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary (North Caroline, USA).

Trocino, A., Garcia, J., Carabaño, R. & Xiccato, G. 2013. A metaanalysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 21 (1):

1-15. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2013.1285>, ISSN: 1257-5011

Villamide, M.J., Maertens, L., Cervera, C., Perez, J.M. & Xiccato, G. 2001. A critical approach of the calculation procedures to be used in digestibility determination of feed ingredients for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 9 (1): 19-25. <https://doi.org/10.4995/wrs.2001.442>, ISSN: 1257-5011

Wang, Z., He, H., Chen, M., Ni, M., Yuan, D., Cai, H., Chen, Z., Li, M., & Xu, H. (2023). Impact of coprophagy prevention on the growth performance, serum biochemistry, and intestinal microbiome of rabbits. *BMC Microbiology*, 23, 125.

Wu, Z., Zhou, H., Li, F., Zhang, N., & Zhu, Y. (2019). Effect of dietary fiber levels on bacterial composition with age in the cecum of meat rabbits. *Microbiology Open*, 8(5), e708.

Xiccato, G., Trocino, A., Majolini, D., Fragkiadakis, M. & Tazzoli M. 2011. Effect of decreasing dietary protein level and replacing starch with soluble fibre on digestive physiology and performance of growing rabbits. *Animal*, 5 (8): 1179-1187. doi: 10.1017/S1751731111000243, ISSN: 1751-732X (Online).

3.3. EFECTO DEL NIVEL EN PIENSO DE PULPA GRANULADA DE REMOLACHA, CON O SIN MELAZA, SOBRE EL ESTADO DE SALUD Y EL CRECIMIENTO DE CONEJOS

3.3.1. Resumen

Para evaluar el efecto del nivel de inclusión de pulpa de remolacha, con o sin melaza, sobre el rendimiento del crecimiento, se utilizaron un total de 470 conejos de 28 días de edad. Los animales fueron asignados aleatoriamente a cinco tratamientos dietéticos: Control, sin pulpa de remolacha; PR₂₀ y PR₄₀ con 20 y 40% de pulpa de remolacha sin melaza, respectivamente; y PRM₂₀ y PRM₄₀, con 20 y 40% de pulpa de remolacha con melaza, respectivamente. El consumo diario de alimento (CDA) y la ganancia media diaria (GMD) se controlaron a los 28, 49 y 59 días de edad. También se determinaron las características de la canal y del tracto digestivo a los 59 días de edad. La mortalidad y la morbilidad fueron controladas diariamente. La mortalidad durante el período de crecimiento fue mayor en los grupos PRM que en los PR (+9.2%; P<0,05). A mayor inclusión de PR, con o sin melaza, menor CDA y GMD de los animales, así como el rendimiento a la canal, la proporción de hígado y el porcentaje de grasa disecable de sus canales. Sin embargo, la mejor eficiencia alimenticia durante los últimos 10 días se obtuvo con el grupo PRM₄₀. Respecto a los parámetros digestivos, cuanto mayor fue la inclusión de pulpa de remolacha, con o sin melaza, mayor el peso del tracto gastrointestinal vacío y ciego. De hecho, una mayor inclusión de pulpa de remolacha disminuyó el pH y la materia seca y disminuyó el contenido total de ácidos grasos volátiles del ciego, más rico en ácido acético, pero más pobre en propiónico, isobutírico, isovalérico y valérico. El peso del estómago fue menor y el contenido de ácido cáprico en el ciego mayor en los grupos PRM que en los PR. La inclusión de pulpa de remolacha en el alimento redujo el rendimiento de crecimiento y el rendimiento de la canal de los conejos en

crecimiento y, cuando pulpa de remolacha incluía melaza, se observó una incidencia aún mayor de trastornos digestivos.

Palabras clave: pulpa de remolacha; melaza; conejo; mortalidad; crecimiento; canal; digestivo; actividad cecal.

3.3.2. Introducción

La pulpa de remolacha es un subproducto de la industria azucarera a partir de la raíz de remolacha, la cual se comercializa deshidratada y granulada. Estos pellets pueden o no incluir otros subproductos, principalmente melazas y vinazas, que pueden alterar sus características y valor nutricional para los animales (De Blas y Mateos, 2010). La incorporación de pulpa de remolacha en la dieta del conejo se ha incrementado considerablemente desde la aparición de la Enteropatía Epizootica del Conejo (ERE). La incidencia de esta enfermedad, de etiología aún desconocida, puede estar parcialmente modulada por la composición química de la dieta. Es bien sabido que una reducción de proteínas y un aumento del contenido de fibra de la dieta a expensas del almidón suele reducir el riesgo de trastornos digestivos asociados a la ERE (Chamorro *et al.*, 2007; Blas y Gidenne, 2010; Martínez *et al.*, 2011). De esta fibra, la inclusión de la denominada fibra soluble reduce la mortalidad y mejora la mucosa intestinal (Combes *et al.*, 2013 y Trocino *et al.*, 2013).

La pulpa de remolacha es rica en fibra soluble, que puede ser parcialmente digerida y fermentada en el tracto digestivo de los conejos, por lo que su incorporación al alimento induce una modulación del patrón fermentativo cecal y de la microbiota (Gómez *et al.*, 2007 y Gómez *et al.*, 2009). De esta forma, muchos estudios asocian su inclusión con una mayor seguridad digestiva, ya que disminuye la mortalidad y la morbilidad durante el período de crecimiento (Gidenne *et al.*, 2010).

Sin embargo, algunos estudios también indican que una alta inclusión de pulpa de remolacha podría reducir el crecimiento y el rendimiento de la canal al aumentar el tamaño del ciego de los conejos en crecimiento (Delgado *et al.*, 2018 y Caisín *et al.*, 2020). Además, la pulpa de remolacha es una materia prima cuya composición varía mucho de una fuente a otra. Una de las principales fuentes de variación es la inclusión o no en el pellet comercializado de las melazas (y otros subproductos en menor proporción, como vinazas) obtenidas en la cristalización de los azúcares. La melaza se utiliza con frecuencia en la fabricación de piensos como un aglutinante palatable (rico en azúcares), pero su inclusión en el gránulo de pulpa de remolacha aumenta el contenido de electrolitos y carbohidratos no asimilables (De Blas *et al.*, 2019). Por lo tanto, es importante continuar realizando estudios para comprender mejor la variabilidad de esta materia prima y su efecto en el rendimiento y la salud de los conejos.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del nivel de inclusión de pulpa de remolacha en la dieta, con y sin melaza, sobre el estado de salud, el rendimiento del crecimiento, la canal, el tracto digestivo y el perfil fermentativo del ciego en conejos en crecimiento.

3.3.3. Materiales y métodos

3.3.3.1. Dietas

Dos lotes de pulpa de remolacha, con y sin melaza obtenida durante la fabricación de azúcar, se obtuvieron del mismo lote de pulpa de remolacha de una fábrica de azúcar industrial. Partiendo de una dieta control (C, sin pulpa de remolacha) formulada para satisfacer los requerimientos de conejos en crecimiento (García *et al.*, 1993; De Blas y Mateos, 2020; Xiccato, G. y Trocino, A. 2020), se diseñaron otras cuatro dietas experimentales incluyendo 20 (PR₂₀) y 40% (PR₄₀) de pulpa de remolacha sin melaza y 20 (PRM₂₀) y 40% (PRM₄₀) de

pulpa de remolacha con melaza. En las Tablas 3.3.1 y 3.3.2 se muestra los ingredientes y composición química de las dietas experimentales. Las dietas se formularon para ser isoproteicas, isofibrosas e isoenergéticas, utilizando la composición química promedio y el valor nutritivo de las pulpas de remolachas analizada en Arce *et al.* (2019).

Tabla 3.3.1. Ingredientes (%) de las dietas experimentales¹

	C	PR ₂₀	PR ₄₀	PRM ₂₀	PRM ₄₀
Grano de cebada	14.00	7.00	-	7.00	-
Pulpa de remolacha sin melaza	-	20.00	40.00	-	-
Pulpa de remolacha con melaza	-	-	-	20.00	40.00
Salvado de trigo	13.00	13.00	13.00	12.00	11.00
Melaza de pulpa de remolacha	2.00	1.00	-	1.75	1.50
Harina de girasol (30%PB)	12.00	13.00	14.00	14.00	16.00
Harina de soja (44%PB)	11.00	10.00	9.00	10.50	10.00
Heno de alfalfa	16.00	16.00	16.00	13.50	11.00
Granilla de uva	9.00	7.00	5.00	7.00	5.00
Cascarilla de avena	10.00	5.00	-	5.00	-
Aceite de soja	5.00	2.75	0.50	4.10	3.20
Almidón	5.00	2.50	-	2.50	-
Carbonato bicálcico	0.50	0.25	-	0.25	-
Fosfato bicálcico 2·H ₂ O	0.80	0.85	0.90	0.83	0.86
Cloruro de sodio	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
DL-metionina	0.06	0.10	0.13	0.03	-
L-lisina	0.20	0.16	0.13	0.15	0.10
L-treonina	0.14	0.09	0.04	0.09	0.04
Premix de vitaminas y minerales ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Robenidina HCl ³	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Premix de antibióticos ⁴	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

¹Dietas experimentales: C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza. ²Suministros de mezcla de vitamina y micromineral por kg de alimento: Vitamina A: 8.375 UI; Vitamina D3: 750 UI; Vitamina E: 20 mg; Vitamina K3: 1 mg; Vitamina B1: 1 mg; Vitamina B2: 2 mg; Vitamina B6: 1 mg; Ácido nicotínico: 20 mg; Cloruro de colina: 250 mg; Magnesio: 290 mg; Manganeso: 20 mg; Zinc: 60 mg; Yodo: 1,25 mg; Hierro: 26 mg; Cobre: 10 mg; Cobalto: 0,7 mg; Mezcla de butil hidroxilanísolo y etoxiquina: 4 mg. ³Robenidina a 66 g/kg. ⁴Dinco-spectim (29ppm dincomicina

+29ppm spectinomycin), 120ppm neomicina, Apsamix Tiamulin (50ppm tiamulin), normalmente utilizado en granjas de conejos con alta incidencia de enteropatía mucoide. PB: proteína bruta.

Tabla 3.3.2. Composición química (g/kg MS) de las dietas experimentales¹

	C	PR ₂₀	PR ₄₀	PRM ₂₀	PRM ₄₀
Materia seca (MS)	914	914	914	915	912
Cenizas	60	63	65	63	65
Grasa bruta	66	45	26	56	48
Almidón	152	105	55	102	40
Fibra neutro detergente (FND)	400	395	394	406	415
Fibra ácido detergente	213	227	240	234	251
Lignina ácido detergente	65	59	52	59	52
Fibra soluble en detergente neutro	170	199	220	204	227
Proteína bruta (PB)	172	173	173	170	173
PB-FND	43	44	35	44	52
Proteína digestible (PD)	143	140	133	135	120
Energía bruta (MJ/kg DM)	20.1	19.2	18.7	19.0	18.6
Energía digestible (DE, MJ/kg MS)	12.5	12.2	11.9	11.8	11.7
PD/ED (g/MJ)	11.5	11.5	11.2	11.4	10.3

¹Dietas experimentales: C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza.

Las dietas experimentales fueron isoproteicas (proteína bruta (PB) con un rango de 170 a 173 g/kg de materia seca (MS)) e isofibrasas (fibra neutro detergente de 395 a 415 g FND/kg MS). Sin embargo, la proteína digestible (PD) y la energía digestible (ED) oscilaron entre 120 y 143 g/kg MS y entre 11,7 y 12,5 MJ/kg MS, respectivamente. Por cada 10% de inclusión de PR, el contenido de fibra soluble en detergente neutro (FSDN) aumentó en 13 g/kg MS. Como el experimento se realizó durante un brote de ERE, todos los piensos experimentales (hasta los 49 días de edad) incluían una mezcla de antimicrobianos prescritos por el veterinario (29 ppm de dincomicina, 29 ppm de espectinomycin, 120 ppm de neomicina y 50 ppm de tiamulina).

3.3.3.2. Animales

Los protocolos experimentales siguieron tanto el Real Decreto 53/2013 sobre la protección de los animales utilizados con fines científicos (Boletín Oficial del Estado), como las recomendaciones para la investigación en nutrición aplicada en conejos descritas por el European Group on Rabbit Nutrition (Fernández *et al.*, 2005), siendo aprobados por el Comité de Ética y Bienestar Animal de la Universitat Politècnica de València. Se utilizaron un total de 470 conejos de cruce a tres vías. Los animales fueron destetados a los 28 días de edad con un peso vivo promedio (PV) de 612.2 ± 103.4 g, que fueron bloqueados por camada. Los conejos destetados de cada camada fueron asignados aleatoriamente a los diferentes tratamientos (94 animales por tratamiento) en cada lote (un total de 5 lotes de enero a julio de 2014). Todos los animales se alojaron individualmente en jaulas (26×50×31 cm) hasta el final del período de crecimiento (59 días de edad). Los piensos y las heces se almacenaron y analizaron para determinar MS, PB y energía bruta (EB). El conejo se consideró como unidad experimental y se utilizaron tanto animales machos como hembras. Para determinar la ED y PD de las dietas, otro grupo de 50 animales (10 por dieta) se alojaron a los 42 días de edad en jaulas metabólicas y se controló el consumo de alimento y la producción de heces, y se tomaron muestras desde los 49 a los 53 días de edad. Las muestras de heces se agruparon proporcionalmente para obtener una muestra por dieta para su posterior análisis.

3.3.3.3. Procedimiento experimental

El PV y el consumo de alimento se monitorearon los días 28, 49 y 59 de edad para determinar el consumo diario de alimento (CDA), la ganancia media diaria (GMD) y el índice de conversión (IC). La mortalidad y la morbilidad se controlaron diariamente, y el índice de riesgo sanitario se calculó como la suma

de la mortalidad y la morbilidad (Bennegadi *et al.*, 2000). Los animales se clasificaron como mórbidos cuando presentaban diarrea, estreñimiento, inmovilidad y pérdida de peso o disminución del consumo de alimento en comparación con los animales del mismo tratamiento (intervalos intercuartílicos inferiores a 1.5; SAS, 2002). Se utilizaron cincuenta animales (10 por tratamiento) para determinar el contenido de ED y PD de las dietas. Siguiendo las recomendaciones de Perez *et al.* (1995), se controló el consumo de alimento y se recolectaron las heces desde los 49 a los 53 días de edad.

A los 59 días de edad, 100 conejos (20 por dieta) fueron pesados (peso al sacrificio, PS), aturdidos eléctricamente y sacrificados en el matadero de la granja. No se aplicó ayuno. Los procedimientos de sacrificio y disección de canales siguieron las recomendaciones de Blasco y Ouhayoun (1993). Los conejos sacrificados se sangraron y se extrajo la piel, los genitales, la vejiga urinaria y el tracto gastrointestinal completo. Después de medir el pH del contenido estomacal y cecal, se pesaron alícuotas de aproximadamente 1 g de contenido cecal y se agregaron 3 ml de una solución de ácido sulfúrico al 2% o 2 ml de ácido ortofosfórico al 2% para el análisis del nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y ácidos grasos volátiles (AGV), respectivamente. Las muestras para el análisis de AGV se centrifugaron a 10000 rpm durante 10 min y la fase líquida se recogió en viales Eppendorf de 0.5 ml. Finalmente, todas las muestras se almacenaron a -80°C hasta su análisis. El contenido cecal restante se almacenó a -20°C hasta el análisis de MS. El tracto gastrointestinal vacío (TGV) se pesó y expresó como porcentaje en comparación con PS. Posteriormente, tanto el estómago vacío como el ciego se pesaron y expresaron como porcentaje en comparación con TGV. Las canales calientes obtenidas se pesaron (PCC) y luego se enfriaron a +4 °C durante 24 h en una sala ventilada. Las canales enfriadas se pesaron (PCF) y el rendimiento a la canal se calculó como $PCC \times 100/PS$. El hígado y la grasa

disecable (grasa inguinal, grasa perirrenal y grasa escapular) se extrajeron, pesaron y expresaron como porcentaje en comparación con PCF.

3.3.3.4. Análisis químico

Los análisis químicos de dietas y heces se realizaron siguiendo los métodos de la AOAC (AOC, 2019): 934.01 para MS, 942.05 para cenizas, 976.06 para PB y 920.39, con hidrólisis ácida previa de las muestras, para la grasa bruta (GB). El contenido de almidón se determinó según Batey (1982), mediante un procedimiento enzimático de 2 pasos con solubilización e hidrólisis a maltodextrinas con α -amilasa termoestable seguida de hidrólisis completa con amiloglucosidasa (ambas enzimas de Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania), y la glucosa resultante se midió mediante el sistema hexoquinasa/glucosa-6 fosfato deshidrogenasa/NADP (R-Biopharm, Darmstadt, Alemania). Las fracciones de fibra neutro detergente (FND), FAD y lignina ácido detergente (LAD) se analizaron secuencialmente (Van Soest, Robertson y Lewis, 1991), con un pretratamiento termoestable de α -amilasa y se expresaron sin cenizas residuales, utilizando el sistema de bolsa de filtro de nailon (Ankom, Macedonia, Nueva York, EE. UU.). El contenido de fibra soluble en detergente neutro (FSDN) se determinó de acuerdo con Hall *et al.* (1997) y se modificó según Martínez *et al.* (2011). Se analizó el contenido de PB del residuo de FND para determinar la proteína asociada al FND (PB-FND). La energía bruta se determinó por combustión en bomba calorimétrica adiabática, según las recomendaciones del European Group on Rabbit Nutrition (EGRAN, 2001). El contenido de los principales aminoácidos limitantes (lisina, metionina y treonina) se determinó después de la hidrólisis ácida con HCl 6N a 110°C durante 23 h por HPLC como se describe en (Alagón *et al.*, 2016). La energía bruta de las dietas y las heces mezcladas se determinó usando una bomba calorimétrica.

Las concentraciones de MS y N-NH₃ en el contenido cecal se determinaron de acuerdo con los procedimientos (AOAC, 2019; métodos 934.01 y 984.13, respectivamente). Para el análisis de AGV, las muestras se filtraron previamente a través de un filtro de celulosa (0.45), y se transfirieron 250 ml a los viales de inyección. Se inyectaron dos microlitros de cada muestra en el cromatógrafo de gases (serie FISIONS 8000, Milán, Italia) equipado con un inyector automático AS800. La columna utilizada fue una BD-FFAP de 30 m de longitud ×0.25 mm de diámetro interior ×0.25 mm de espesor de película. Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron a 220 y 225°C, respectivamente.

3.3.3.5. Análisis estadístico

Se analizó la mortalidad, morbilidad y el índice de riesgo sanitario durante el período de crecimiento mediante una regresión logística, utilizando el procedimiento GENMOD del SAS (2009), considerando una distribución binomial. Los resultados se transformaron a partir de la escala logit.

Los datos de rendimiento se analizaron utilizando un procedimiento GLM de SAS (2009). El modelo incluyó como efectos fijos la dieta (C, PR₂₀, PR₄₀, PRM₂₀, PRM₄₀), el lote (1, 2, 3, 4, 5) y su interacción, incluyéndose la camada como bloque y el PV a los 28 d de edad como covariable. Los datos de los parámetros del tracto digestivo y cecal también se analizaron utilizando un procedimiento GLM para cada edad, con un modelo que incluye la dieta, el lote y su interacción como efecto principal. El efecto de la inclusión de melaza se evaluó mediante contrastes ortogonales [$\frac{1}{2}(\text{PR}_{20}+\text{PR}_{40})-\frac{1}{2}(\text{PRM}_{20}+\text{PRM}_{40})$]. Los efectos lineales y cuadráticos para la inclusión de PR (0, 20 y 40%) se analizaron mediante contrastes ortogonales polinómicos. Todos los datos se presentaron como medias de mínimos cuadrados y para la comparación de medias se utilizó el test t.

3.3.4. Resultados

3.3.4.1. Estado de salud

Como se puede observar en la Tabla 3.3.3, donde se presentan los principales parámetros sanitarios controlados, el ensayo se desarrolló durante un brote de ERE en la granja experimental, con valores medios altos de mortalidad, morbilidad y SRI (en promedio 25.5, 5.5 y 31.0%, respectivamente). La inclusión de pulpa de remolacha en el pienso no tuvo un efecto significativo sobre los valores medios de mortalidad y morbilidad de los conejos en crecimiento. Sin embargo, la mortalidad observada con los piensos PRM fue significativamente mayor que con los piensos PR, tanto desde los 49 a los 59 días de edad (-10.8% ; $P=0.0207$) y durante todo el período de crecimiento (-9.2% ; $P=0.0321$).

Tabla 3.3.3. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) sobre la morbilidad y mortalidad de los conejos de engorde

	Dietas experimentales ¹						P-valor		
	C	PR ₂₀	PR ₄₀	PRM ₂₀	PRM ₄₀	PR-PRM	Dieta	Lineal	Cuadrático
Nº de animales	94	94	94	94	94				
Mortalidad (%):									
28-49 d	9.75	9.95	8.87	8.86	13.22	0.6034	0.8383	0.7234	0.7228
49-59 d	17.10	13.88	8.55	19.25	18.37	0.0207	0.2454	0.4254	0.7131
28-59 d	26.85	23.83	17.42	28.11	31.59	0.0321	0.2203	0.6669	0.9447
Morbilidad (%):									
28-59 d	3.99	5.04	8.25	8.20	1.87	0.5185	0.2531	0.7150	0.3480
IRS (%):									
28-59 d	30.85	28.87	25.67	36.31	33.46	0.1180	0.5682	0.8272	0.5948

¹Dietas experimentales: C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza. Contraste PR-PRM: $(PR_{20}+PR_{40})/2$ vs. $(PRM_{20}+PRM_{40})/2$. IRS: Índice de riesgo sanitario (mortalidad+morbilidad).

La Figura 3.2. nos muestra la evolución semanal de la mortalidad de los conejos en crecimiento con los diferentes piensos a lo largo del periodo de

engorde. Como se puede observar, no hubo diferencias entre los tratamientos hasta los 49 d de edad, pero a partir de ese momento los piensos que incluyeron un mayor nivel de PRM comienzan a mostrar una mayor incidencia de mortalidad que los que incluyeron un mayor nivel de PR. De hecho, el grupo alimentado con PRM₄₀ mostró una mortalidad significativamente mayor que los alimentados con PR₄₀ al final del ensayo (+14.2%; P<0.0012).

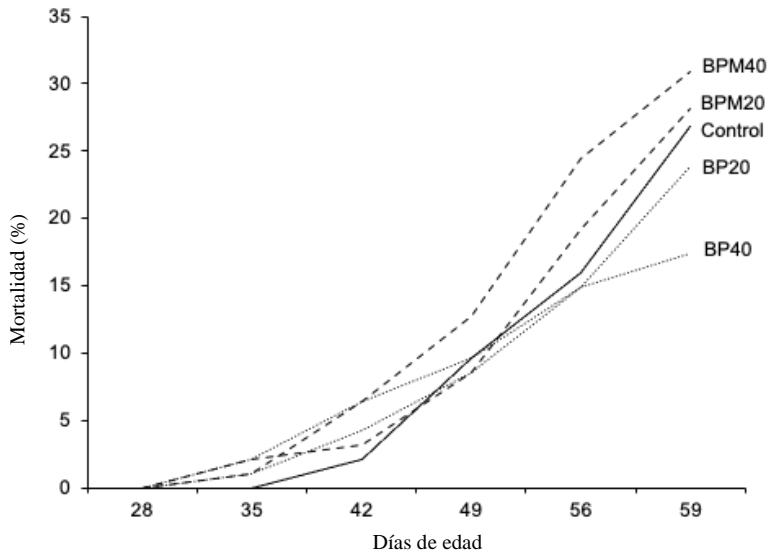


Figura 3.3.1. Evolución de la mortalidad de conejos en crecimiento durante el período de engorde en función de la dieta experimental. C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con un 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza.

3.3.4.2. Parámetros de crecimiento

En la Tabla 3.3.4., se muestra el efecto de la inclusión de PR, con o sin melaza, sobre el comportamiento del crecimiento de los conejos durante el período de crecimiento (28 a 59 días de edad).

Tabla 3.3.4. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) en el rendimiento de crecimiento de conejos de engorde.

	Dietas experimentales ¹					SEM	Contraste PR-PRM	P-valor		
	C	PR ₂₀	PR ₄₀	PRM ₂₀	PRM ₄₀			Dieta	Lineal	Cuadrático
Peso vivo (g)										
28 d	618	604	609	626	603	12	-8 ± 11	0.5377	0.3500	0.7524
49 d	1741 ^c	1678 ^b	1621 ^a	1696 ^{bc}	1586 ^a	19	8 ± 18	0.0001	0.0001	0.3802
59 d	2202 ^c	2135 ^b	2063 ^a	2148 ^{bc}	2045 ^a	24	3 ± 22	0.0001	0.0001	0.5227
Consumo diario de alimento (g MS/d)										
28-49 d	106 ^d	99 ^{bc}	95 ^{ab}	100 ^c	91 ^a	2	1 ± 1	0.0001	0.0001	0.9937
49-59 d	146 ^c	139 ^b	136 ^b	137 ^b	128 ^a	3	5 ± 3	0.0001	0.0001	0.7455
28-59 d	119 ^c	112 ^b	108 ^b	112 ^b	103 ^a	2	2 ± 2	0.0001	0.0001	0.8701
Ganancia Media Diaria de peso vivo (g/d)										
28-49 d	54.1 ^c	51.1 ^b	48.3 ^a	51.9 ^{bc}	46.7 ^a	0.9	0.4 ± 0.9	0.0001	0.0001	0.3830
49-59 d	46.1	45.7	44.2	45.2	45.9	1.2	-0.6 ± 1.2	0.7482	0.4459	0.8847
28-59 d	51.5 ^c	49.3 ^b	47.0 ^a	49.7 ^{bc}	46.4 ^a	0.8	0.1 ± 0.7	0.0001	0.001	0.5222
Índice de conversión alimenticia (g/g)										
28-49 d	2.22	2.16	2.23	2.17	2.20	0.03	0.01 ± 0.03	0.3935	0.7873	0.0649
49-59 d	3.59 ^b	3.46 ^b	3.54 ^b	3.52 ^b	3.13 ^a	0.07	0.18 ± 0.07*	0.0001	0.0050	0.7196
28-59 d	2.31	2.27	2.29	2.26	2.21	0.03	0.05 ± 0.03	0.0718	0.0642	0.6062

¹Dietas experimentales: C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza. Contraste PR-PRM: [(PR₂₀+PR₄₀)/2-(PRM₂₀+PRM₄₀)/2]; *P<0,05. ^{a,b,c,d} Los medios que no compartían superíndices dentro de una fila eran significativamente diferentes en P<0.05. SEM: error estándar de la media. PV: peso vivo; CDA: consumo diario de alimento; IC: índice de conversión.

Independientemente de la inclusión o no de melaza, por cada 20% de inclusión de pulpa de remolacha en el pienso, se produjo una reducción lineal del CDA y la GMD del 5.5 y 4.6%, respectivamente, a lo largo de todo el periodo de engorde (P<0.0001). De los 28 a los 49 días de edad, se observaron menores GMD y PV a los 49 días de edad en conejos en crecimiento con inclusión de pulpa de remolacha (-6.0% y -4.2% por cada 20% de inclusión de PR o PRM en la dieta, respectivamente; P <0.0001), sin que el IC se viera afectado en ese periodo. Sin embargo, durante los últimos 10 días del período de crecimiento, no se observó un efecto significativo de la alimentación en GMD, lo que permitió una reducción en IC de 49 a 59 días de edad con inclusión de pulpa de remolacha, aunque solo significativa con PRM (-6.4 % por cada 20% de inclusión de PRM en la dieta; P=0.0135).

3.3.4.3. Canal y tracto digestivo

El posible efecto de la inclusión de pupa de remolacha, con o sin melaza, sobre la canal principal y las características del tracto digestivo de conejos a los 59 días de edad se muestra en la Tabla 3.3.5. No se observaron diferencias significativas en PS a los 59 días de edad. Sin embargo, PCC y PCF disminuyeron linealmente -3.9 % por cada 20% de inclusión de PR o BMP en la dieta ($P=0.0007$). Independientemente de la inclusión o no de melaza, el rendimiento a la canal, y el porcentaje de hígado y grasa disecable disminuyeron linealmente con la inclusión de pulpa de remolacha (-1.8 y, -0.72 y -0.87 puntos porcentuales por cada 20% de inclusión de PR o PRM en la dieta, respectivamente; $P<0.001$). Por el contrario, la inclusión de pulpa de remolacha incrementó significativamente los porcentajes de TGV y ciego de los animales (+2.4 y +3.0 puntos porcentuales por cada 20% de inclusión de PR o PRM en la dieta, respectivamente; $P<0.0001$). El porcentaje de estómago fue significativamente mayor para los animales PR que para los animales PRM (+1.9 puntos porcentuales; $P=0.0120$).

En cuanto a la funcionalidad del tubo digestivo, la inclusión de pulpa de remolacha no afectó al pH del estómago, pero sí a una reducción lineal del pH del ciego (-0.10 puntos por cada 20% de inclusión de PR o PRM en la dieta; $P=0.0055$) y a la disminución tanto lineal como cuadrática (especialmente con la inclusión del primer 20%) del porcentaje de MS del ciego (-2.5 puntos porcentuales por cada 20% de inclusión de PR o PRM en la dieta; $P=0.0001$). La producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el ciego no se vio afectada por el pienso, pero la producción total de AGV aumentó lineal y cuadráticamente con la inclusión de pulpa de remolacha (+17% con la primera inclusión del 20% de PR o PRM en la dieta; $P=0.0131$). En cuanto a la proporción de los diferentes AGV del ciego, la inclusión de pulpa de remolacha en el pienso aumentó linealmente el porcentaje

de ácido acético (P=0.0024), redujo linealmente el porcentaje de ácido propiónico (P=0.0289), y redujo lineal y cuadráticamente (principalmente con el primer 20% de inclusión) el porcentaje de isobutírico (P=0.0019) e isovalérico (P=0.0002). Finalmente, el porcentaje de ácido caproico del ciego se redujo con la inclusión de PR, pero no se vio afectado por la inclusión de PRM (P=0.0198).

Tabla 3.3.5. Efecto de la inclusión de pulpa de remolacha (con o sin melaza) en la canal y el tracto digestivo de los conejos de engorde a los 59 días de edad.

	Dietas experimentales ¹					SEM	Contraste PR-PRM	Valor P		
	C	PR ₂₀	PR ₄₀	PRM ₂₀	PRM ₄₀			Dieta	Lineal	Cuadrático
Peso sacrificio (PS, g)	2142	2108	2083	2099	2100	26	3.6 ± 26	0.6106	0.1232	0.6074
Peso canal caliente (g)	1281 ^b	1198 ^a	1199 ^a	1183 ^a	1164 ^a	24	25 ± 23	0.0076	0.0007	0.0565
Peso canal fría (PCF, g)	1228 ^b	1151 ^a	1150 ^a	1129 ^a	1111 ^a	24	30 ± 23	0.0063	0.0007	0.0612
Rendimiento canal (%)	59.7 ^c	57.9 ^b	56.5 ^a	57.3 ^{ab}	55.9 ^a	0.5	0.6 ± 0.5	0.0001	0.0001	0.4513
Peso hígado (g)	82.5 ^c	73.7 ^{bc}	61.6 ^{ab}	63.1 ^{ab}	58.8 ^a	4.8	6.7 ± 4.7	0.0046	0.0003	0.4918
(%PCF)	6.75 ^c	6.37 ^{bc}	5.30 ^a	5.59 ^{ab}	5.34 ^a	0.36	0.36 ± 0.35	0.0168	0.0016	0.8595
Grasa disecable (g)	60.2 ^c	44.5 ^b	33.0 ^a	43.7 ^b	38.7 ^{ab}	0.07	-2.5 ± 3.3	0.0001	0.0001	0.2012
(%PCF)	4.87 ^c	3.77 ^b	2.83 ^a	3.80 ^b	3.45 ^{ab}	0.23	0.05 ± 0.03	0.0001	0.0001	0.2882
TGV (%PV)	17.6 ^a	20.2 ^b	21.9 ^{cd}	20.8 ^{bc}	22.9 ^d	0.5	0.9 ± 0.5	0.0001	0.0001	0.3143
Estómago:										
Peso (%TGV)	23.0	24.9	24.4	22.8	22.7	0.7	1.9 ± 0.7*	0.1185	0.5392	0.3848
pH	1.41	1.44	1.41	1.38	1.34	0.04	0.06 ± 0.04	0.3302	0.3220	0.5979
Ciego:										
Peso (%TGV)	32.2 ^a	35.5 ^b	39.1 ^c	36.1 ^b	37.1 ^{bc}	1.1	-0.7 ± 1.1	0.0003	0.0001	0.4968
pH	6.18 ^b	6.06 ^{ab}	5.96 ^a	6.03 ^{ab}	5.99 ^a	0.06	0.00 ± 0.06	0.0909	0.0055	0.5810
MS (%)	25.5 ^c	21.4 ^b	19.9 ^a	21.4 ^b	20.2 ^{ab}	0.4	0.1 ± 0.4	0.0001	0.0001	0.0011
N-NH ₃ (mmol/L)	9.32	5.58	7.42	6.70	7.27	1.25	0.48 ± 1.22	0.2990	0.2023	0.0574
AGV totales (mmol/L)	73.1 ^a	85.3 ^b	87.2 ^b	85.8 ^b	85.6 ^b	4.1	-0.6 ± 4.2	0.1030	0.0101	0.0131
Ácido acético (%)	76.0 ^a	79.6 ^b	80.3 ^b	78.6 ^b	78.5 ^b	0.9	-1.3 ± 0.9	0.0143	0.0024	0.1024
Ácido propiónico (%)	4.98 ^c	4.48 ^{ab}	4.14 ^a	5.42 ^b	3.98 ^a	0.32	0.39 ± 0.34	0.0209	0.0289	0.1745
Ácido butírico (%)	16.8	14.0	13.8	14.0	15.8	1.0	1.0 ± 1.0	0.1302	0.1055	0.0565
Ácido isobutírico (%)	0.23 ^b	0.10 ^a	0.14 ^a	0.10 ^a	0.12 ^a	0.03	-0.01 ± 0.03	0.0040	0.0024	0.0019
Ácido isovalérico (%)	0.26 ^b	0.10 ^a	0.14 ^a	0.10 ^a	0.12 ^a	0.03	-0.01 ± 0.03	0.0002	0.0001	0.0002
Ácido valérico (%)	0.71 ^c	0.46 ^{ab}	0.40 ^a	0.55 ^b	0.42 ^a	0.04	0.05 ± 0.04	0.0001	0.0001	0.1807
Ácido caproico (%)	0.66 ^{bc}	0.53 ^{abc}	0.37 ^a	0.65 ^{bc}	0.73 ^c	0.08	0.24 ± 0.07*	0.0198	0.2784	0.8246
Ácido heptanoico (%)	0.04	0.04	0.08	0.04	0.05	0.01	0.01 ± 0.02	0.2250	0.2706	0.2223

¹Dietas experimentales: C, control sin pulpa de remolacha; PR₂₀, con 20% de pulpa de remolacha sin melaza; PR₄₀, con 40% de pulpa de remolacha sin melaza; PRM₂₀, con 20% de pulpa de remolacha con melaza; PRM₄₀, con un 40% de pulpa de remolacha con melaza. Contraste PR-PRM: [(PR₂₀+PR₄₀)/2]-(PRM₂₀+PRM₄₀)/2]. Grasa disecable: escapular + inguinal + grasa perirrenal. ^{a,b,c} Los medios que no compartían superíndices dentro de una fila fueron significativamente diferentes en P<0.05. SEM: error estándar de la media. TGV: tracto gastrointestinal vacío. AGV: ácidos grasos volátiles.

3.3.5. Discusión

La pulpa de remolacha azucarera se ha convertido en las últimas décadas

en una de las materias primas más habituales en la formulación de piensos para conejos. En promedio, las pulpas de remolacha se suelen incluir en niveles cercanos a los 100 g/kg en los alimentos comerciales (De Blas y Mateos, 2010), pero su nivel en los alimentos antes del destete es incluso mucho más alto (en promedio 160 g/kg, variando en las dietas experimentales de 0 a 490 g/kg; Trocino *et al.*, 2013). Sin embargo, una de las preocupaciones del sector a la hora de utilizar pulpa de remolacha es la posible heterogeneidad de la calidad de este subproducto. Como se mencionó anteriormente, su principal fuente de variabilidad es la inclusión o no en el pellet comercializado de la melaza (y otros subproductos en menor proporción incluidos en esta melaza, como las vinazas). El presente trabajo ha abordado por primera vez cómo la inclusión de altos niveles de pulpa de remolacha, y la presencia o ausencia de melazas obtenidas en su elaboración, pueden afectar el estado de salud, crecimiento, canal, tracto digestivo y perfil fermentativo del ciego en conejos en crecimiento.

3.3.5.1. Estado de salud

El ensayo tuvo lugar durante un brote de ERE en la granja experimental, lo que llevó al servicio veterinario a prescribir un tratamiento antibiótico en todos los piensos experimentales desde el destete hasta los 49 días de edad. Durante la aplicación del tratamiento antibiótico la mayoría de los grupos presentaron una mortalidad cercana al 9%, excepto el grupo PRM₄₀ que estuvo por encima del 13%. Sin embargo, una vez retirado el tratamiento, la mortalidad aumentó en los grupos C y PRM (cerca del 18%), mientras que la inclusión de PR redujo linealmente la mortalidad respecto al control. Por lo tanto, se observó una interacción entre el nivel de inclusión de pulpa de remolacha y la inclusión de melaza en la mortalidad de conejos en crecimiento en el período global.

Por su parte (Kpodékon *et al.*, 2008), con un número reducido de

animales por tratamiento, no observaron ningún efecto de la inclusión dietética de 5% de melaza sobre la salud digestiva de conejos en crecimiento. Sin embargo, muchos estudios han observado una reducción en la mortalidad asociada con ERE cuando se introdujo fibra soluble e insoluble más fermentable (generalmente de pulpa de remolacha azucarera) a expensas de reducir el almidón u otras fracciones de fibra de la dieta (Gidenne y Jehi, 1996; Gidenne y Perez, 2000; Gidenne *et al.*, 2004a, 2004b; Soler *et al.*, 2004; Xiccato *et al.*, 2006, 2008, 2011; Carraro *et al.*, 2007; Gómez *et al.*, 2007; Tazzoli *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2011; Tazzoli *et al.*, 2013, 2015). De hecho, como se describe en la revisión de Trocino *et al.* (2013), la incidencia de mortalidad se reduce en un 2.5% por cada 1% de aumento de fibra soluble en la dieta. Sin embargo, en otros trabajos realizados en condiciones experimentales (El Abed *et al.*, 2012; Trocino *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2014) o de campo (Gidenne *et al.*, 2004b), el aumento de la fibra soluble del pienso al incluir pulpa de remolacha no tuvo un efecto relevante sobre el estado de salud de los conejos de engorde. Esta falta de respuesta puede deberse a diferentes factores como el número de animales por tratamiento, el nivel de inclusión de pulpa de remolacha, el buen estado sanitario de la granja experimental. En cualquier caso, en base a los resultados de este trabajo, en esta lista de posibles factores, también deberíamos incluir la calidad de la pulpa de remolacha utilizada. Cuando se incluya pulpa de remolacha con el objetivo de mejorar el estado sanitario, sería recomendable buscar una fuente de pulpa de remolacha que no incluya las melazas y vinazas que también se producen en la fabricación de azúcar.

Las diferencias en la salud digestiva observadas con las diferentes dietas pueden estar relacionadas con el ambiente digestivo generado en el intestino grueso de los conejos en crecimiento. Independientemente de la inclusión o no de melaza, la inclusión de pulpa de remolacha en las dietas redujo linealmente el pH

del ciego, debido a un aumento en la producción de AGV, mostrando una reducción cuadrática de N-NH₃. Estos resultados han sido observados previamente por otros autores (Gidenne *et al.*, 2004a; Soler *et al.*, 2004; Xiccato, *et al.*, 2011; Tazzoli *et al.*, 2015; Caisín *et al.*, 2020), quienes sostienen que la mayor disponibilidad de sustratos fermentables, ampliamente utilizados por la microbiota del ciego, intensificaría y estabilizaría la actividad microbiana en el ciego de los conejos. Esta mayor disponibilidad de sustrato fermentable favorece el desarrollo de la microbiota fibrolítica frente a la amilolítica, lo que aumenta la proporción de ácido acético a expensas del resto de ácidos orgánicos de cadena corta (Pascual *et al.*, 2014). Esta posible mejora de la microbiota, junto con otros factores asociados a una mejora del medio digestivo, como el aumento de la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas (Gómez *et al.*, 2007) y la producción de mucinas a partir de un mayor número de células Globet por vellosidad (El Abed *et al.*, 2012), podría ser la razón de la mejora habitual en el estado de salud digestiva de los conejos en crecimiento cuando se añade pulpa de remolacha al pienso.

Sin embargo, contrariamente a lo esperado, cuando la pulpa de remolacha incluía además la melaza en su elaboración, se observaba un aumento de las incidencias digestivas. En general, no se observaron grandes diferencias en el perfil fermentativo en función de la inclusión o no de la melaza en la pulpa de remolacha utilizada. Sin embargo, las dietas ricas en PRM presentaron mayor PB asociada a la FND y una menor digestibilidad de dicha proteína. Esto puede aumentar el flujo ileal de N al ciego y la proliferación de algunas especies de *Clostridium*, que se han asociado con una mayor mortalidad en conejos en crecimiento (Carabaño *et al.*, 2009). De hecho, la única diferencia observada en el patrón de fermentación fue el aumento lineal del contenido de ácido caproico en el ciego de los animales con la inclusión de PRM, mientras que disminuyó

linealmente con la inclusión de PR. La formación de ácido caproico se produce a través de un proceso de elongación de la cadena de ácido carboxílico, que utiliza la β -oxidación inversa de ácido acético y/o n-butírico, y etanol o ácido láctico como donante de electrones, y *Clostridium spp.* ha sido identificado como un factor determinante cuando se proporcionó etanol como donante de electrones (Cavalcante *et al.*, 2017). Por tanto, la producción de ácido caproico en ciego podría ser un indicador de la mayor proliferación de *Clostridium spp.*

3.3.5.2. Crecimiento

Después del destete, la inclusión de pulpa de remolacha en la dieta, con o sin melaza, provocó una reducción lineal del CDA de los conejos en crecimiento durante todo el período de engorde. La mayoría de los trabajos anteriores también han observado que, cuando se aumenta el nivel de inclusión de pulpa de remolacha, generalmente a expensas del contenido de almidón en la dieta, se observa una reducción en el CDA de los conejos en crecimiento (Soler *et al.*, 2004; Tazzoli *et al.*, 2009, 2013; Martínez, *et al.*, 2011; El Abed *et al.*, 2011; Pascual *et al.*, 2014; Caisín *et al.*, 2020). Sin embargo, otros estudios no han encontrado diferencias significativas en el CDA con la adición de pulpa de remolacha (Gidenne *et al.*, 1996; Gidenne y Perez, 2000; Carraro *et al.*, 2007; Xiccato *et al.*, 2011), e incluso un aumento en el consumo, pero asociado a un aumento en el nivel de FAD (Xiccato *et al.*, 2008). La pulpa de remolacha azucarera es especialmente rica en pectina, pentosas y beta-glucanos, Gidenne *et al.* (2010) describieron que estos constituyentes de fibra soluble tienen una alta capacidad tanto de retención de agua como de formación de gel, lo que aumentaría el peso del contenido gástrico y cecal, enlenteciendo el tránsito digestivo y, en consecuencia, reduciendo la capacidad de ingestión de conejos en crecimiento. Prueba de la capacidad de retención de agua de la pulpa de remolacha en el tracto digestivo de los conejos fue el claro aumento lineal en el

contenido de agua del ciego en los conejos en este estudio (del 75 al 80%). Por otro lado, este efecto también se manifiesta claramente por el aumento lineal de la proporción de TGV con la inclusión de la pulpa de remolacha (del 18 al 23% del PV), que se debe principalmente a un aumento lineal de la proporción de ciego del TGV.

Aunque las dietas fueron formuladas para ser isoenergéticas, usando los valores nutritivos obtenidos en trabajos previos (Arce *et al.*, 2019), los niveles de ED y PD de los lotes de pulpa de remolacha usados en este trabajo parecen ser más bajos de lo esperado, especialmente con aquellos que incluyeron melaza (Tabla 3.3.2). Debido al CDA más bajo y al valor nutricional ligeramente más bajo, la inclusión dietética de pulpa de remolacha condujo a una reducción lineal en la GMD de conejos en crecimiento durante las dos primeras semanas posteriores al destete. Estos resultados concuerdan con algunos trabajos previos (Gidenne *et al.*, 2004a; Tazzoli *et al.*, 2009; Caisín *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayoría de los estudios (independientemente del CDA observado) no observaron efectos significativos en la GMD con la adición de pulpa de remolacha (Gidenne y Jehl, 1996; Gidenne y Perez, 2000; Soler *et al.*, 2004; Carraro *et al.*, 2007; Xiccato *et al.*, 2008; Martínez, *et al.* 2011; El Abed *et al.*, 2012; y Pascual *et al.*, 2014; Tazzoli *et al.*, 2015). Esto podría estar relacionado con la mayor retención del contenido digestivo en animales alimentados con alimentos ricos en pulpa de remolacha. Por tanto, aunque no se observaron diferencias significativas en la GMD, el valor obtenido con dietas ricas en pulpa de remolacha no se debería únicamente al crecimiento de los animales. De hecho, como se observa en este estudio, varios estudios mostraron una reducción en el rendimiento de la canal y el peso de las canales de conejos alimentados con dietas ricas en pulpa de remolacha, ya que parte de su GMD estaba destinada a aumentar el contenido digestivo de estos animales.

De esta forma, las posibles mejoras que se pueden observar en la eficiencia alimenticia en este trabajo y en anteriores asociadas a dietas ricas en pulpa de remolacha (Soler *et al.*, 2004; Tazzoli *et al.*, 2009, 2015; El Abed *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2014; Caisín *et al.*, 2020) serían ficticias, pues el efecto que este tipo de pulpas tiene sobre la ingestión, el desarrollo del tracto digestivo y el rendimiento de la canal. Además, la ED de la fibra soluble tiene una tasa metabólica más baja que la de los carbohidratos solubles, lo que podría explicar por qué los animales alimentados con dietas ricas en pulpa de remolacha tenían un menor porcentaje de hígado y grasa disecable en sus canales. Estos resultados concuerdan con los obtenidos (Pascual *et al.* 2014; Tazzoli *et al.* 2015). Por tanto, aunque las características de rendimiento obtenidas con dietas ricas en pulpa de remolacha puedan parecer similares a las obtenidas con dietas más ricas en fuentes de almidón, las consecuencias finales sobre el rendimiento obtenido en sus canales deberían hacernos considerar su limitación de uso, o al menos tenerlo en cuenta al momento de determinar el peso comercial final de las canales deseadas.

3.3.6. Conclusiones

La pulpa de remolacha azucarera es una buena fuente de fibra soluble, que cuando se usa correctamente puede ayudar a mejorar la salud digestiva de los conejos en crecimiento después del destete. Sin embargo, los resultados de este estudio han demostrado que es muy importante tener en cuenta la calidad y el nivel de inclusión de la pulpa de remolacha utilizada para obtener los resultados deseados. El uso de una pulpa de remolacha fabricada con su melaza (y otros subproductos en menor proporción, como destilería), y caracterizada por tener una menor digestibilidad de su proteína, aumentó incluso la incidencia de trastornos digestivos en un brote de ERE. Por otro lado, debido a su capacidad para aumentar el contenido total del tracto digestivo y la menor tasa metabólica

de su fibra soluble, se debe limitar el nivel de inclusión de pulpa de remolacha para evitar un deterioro excesivo del rendimiento de la canal.

3.3.7. Referencias

- Alagón, G.; Arce, O.N.; Martínez-Paredes, E.M.; Ródenas, L.; Moya, V.J.; Blas, E.; Cervera, C.; Pascual, J.J. 2016. Nutritive value of distillers dried grains with solubles from barley, corn and wheat for growing rabbits. *Anim Feed Sci Technol*, 222, 217–226.
- AOAC. 2019. *Official Methods of Analysis*, 21st ed.; Association of Official Analytical Chemist: Rockville, MD, USA.
- Arce, O.; Alagón, G.; Ródenas, L., Martínez-Paredes, E.; Moya, V.J.; Pascual, J.J.; Cervera, C. 2019. Effect of the inclusion of beet pulps of different origin on the digestibility and nutritional value of diets for fattening rabbits. *Cuban J Agr Sci*, 53, 413-424.
- Batey, I. L. 1982. Starch analysis using thermostable alpha-amylases. *Starch-Stärke*, 34(4), 125-128.
- Bennegadi, N.; Gidenne, T.; Licois, D. 2000. Non-specific enteritis in the growing rabbit: detailed description and incidence according to fibre deficiency and sanitary status. In *Proceedings of the 7th World Rabbit Congress*, Valencia, Spain, 4-7 July, 2000. Vol. A: 109-117.
- Blas, E.; Gidenne, T. 2010. Digestion of sugars and starch. In *The Nutrition of the Rabbit*, 2nd ed.; De Blas, C., Wiseman, J. Eds., CABI International, Wallingford (UK); pp. 19-38.
- Blasco, A.; Ouhayoun, J. 1993. Harmonization criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Sci*, 4, 93-99.

- Caisín, L.; Martínez-Paredes, E.; Ródenas, L.; Moya, V. J.; Pascual, J. J.; Cervera, C.; Blas, E.; Pascual, M. 2020. Effect of increasing lignin in isoenergetic diets at two soluble fibre levels on digestion, performance and carcass quality of growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 262, 114396.
- Carabaño, R.; Villamide, M.J.; García, J.; Nicodemus, N.; Llorente, A.; Chamorro, S.; Menoyo, D.; García-Rebollar, P.; García-Ruiz, A.I.; De Blas, J.C. 2009. New concepts and objectives for protein-amino acid nutrition in rabbits. A review. *World Rabbit Sci.* 17, 1–14.
- Carraro, L.; Trocino, A.; Fragkiadakis, M.; Xiccato, G.; Radaelli, G. 2007. Digestible fibre to ADF ratio and starch level in diets for growing rabbits. *Ital J Anim Sci.* 6, 752-754.
- Cavalcante, W.A.; Leitão, R.C.; Gehring, T.A.; Angenent, L.T.; Santaella, S.T. 2017. Anaerobic fermentation for n-caproic acid production: a review. *Proc Biochem.* 54, 106-119.
- Chamorro, S.; Gómez-Conde, M.S.; Pérez de Rozas, A.M.; Badiola, I.; Carabaño, R.; de Blas, J.C. 2007. Effect on digestion and performance of dietary protein content and of increased substitution of lucerne hay with soya-bean protein concentrate in starter diets for young rabbits. *Animal.* 1, 651–659.
- Combes, S.; Fortun-Lamothe, L.; Cauquil, L.; Gidenne, T. 2013. Engineering the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *Animal.* 7, 1429-1439.
- De Blas, C. D., Mateos, G. G. 2020. Feed formulation. In *Nutrition of the Rabbit* (pp. 243-253). Wallingford UK: Cab International. <https://doi.org/10.1079/9781789241273.0243>

- De Blas, C.; García-Rebollar, P.; Gorrachategui, M.; Mateos, G.G. 2019. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. 4th ed.; Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, Spain; 604 pp.
- Delgado, R.; Nicodemus, N.; Abad-Guamán, R.; Sastre, J.; Menoyo, D.; Carabaño, R.; García, J. 2018. Effect of dietary soluble fibre and n-6/n-3 fatty acid ratio on growth performance and nitrogen and energy retention efficiency in growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 239, 44–54.
- EGRAN. 2001. Technical note: Attempts to harmonize chemical analyses of feed and faeces for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci.*, 9: 57-64.
- El Abed, N.; Delgado, R.; Abad, R.; Romero, C.; Fernández, A.; Villamide, M.J.; Menoyo, D.; García, J.; Carabaño, R. 2011. Effect of sugar beet pulp fibre fractions on growth performance, digestibility and digestive physiology in rabbits around weaning. In Proceedings of the Giornate di Coniglicoltura ASIC, Forlì, Italy, 8-9 April 2011, pp. 75-77.
- El Abed, N.; Delgado, R.; Abad, R.; Romero, C.; Villamide, M.J.; Menoyo, D.; Carabaño, R.; García, J. 2012. Soluble and insoluble fiber from sugar beet pulp enhance intestinal mucosa morphology in young rabbits. In Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Stavanger, Norway, Wageningen Academic Publishers, p. 159.
- El Abed, N.; Delgado, R.; Abad, R.; Menoyo, D.; García, J.; Carabaño, R. 2012. Efecto de la fibra soluble e insoluble de la pulpa de remolacha sobre la fisiología digestiva de gazapos destetados a 25 d. *Rev Complutense Cienc Vet*, 6, 19-24.

- Fernández-Carmona, J.; Blas, E.; Pascual, J.J.; Maertens, L.; Gidenne, T.; Xicatto, G.; García, J. 2005. Recommendations and guidelines for applied nutrition experiments in rabbits. *World Rabbit Sci*, 13, 209–228.
- Garcia, G., Galvez, J. F. & de Blas, J. C. 1993. Effect of substitution of sugar beet pulp for barley in diets for finishing rabbits on growth performance and on energy and nitrogen efficiency. *J. Anim. Sci.*, 71 (7): 1823-1830. <https://doi.org/10.2527/1993.7171823x>, ISSN:1525-3163 (web)
- Gidenne, T.; Garcia, J.; Lebas, F.; Licois, D. 2010. Nutrition and feeding strategy: interactions with pathology. In *The Nutrition of the Rabbit*, 2nd ed.; De Blas, C., Wiseman, J. Eds., CABI International, Wallingford (UK); pp. 179–199.
- Gidenne, T.; Jehl, N. 1996. Replacement of starch by digestible fibre in the feed for the growing rabbit. 1. Consequences for digestibility and rate of passage. *Anim Feed Sci Tech*, 61: 183-192.
- Gidenne, T.; Jehl, N.; Lapanouse, A.; Segura, M. 2004a. Interrelationship of microbial activity, digestion and gut health in the rabbit: effect of substituting fibre by starch in diets having a high proportion of rapidly fermentable polysaccharides. *Brit J Nutr*, 92, 95-104.
- Gidenne, T.; Mirabito, L.; Jehl, N.; Perez, J.M.; Arveux, P.; Bourdillon, A.; Briens, C.; Duperray, J.; Corrent, E. 2004b. Impact of replacing starch by digestible fibre, at two levels of lignocellulose, on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Anim Sci*, 78, 389-398.
- Gidenne, T.; Perez, J.M. 2000. Replacement of digestible fibre by starch in the diet of the growing rabbit. I. Effects on digestion, rate of passage and retention of nutrients. *Ann Zootech*, 49: 357-368.

- Gómez-Conde, M.S.; de Rozas, A.P.; Badiola, I.; Pérez-Alba, L.; de Blas, C.; Carabaño, R.; García, J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest Sci*, 125, 192–198.
- Gómez-Conde, M.S.; García, J.; Chamorro, S.; Eiras, P.; Rebollar, P.G.; Pérez de Rozas, A.; Badiola, I.; de Blas, C.; Carabaño, R. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *J Anim Sci*, 85, 3313–3321.
- Hall, M.B.; Lewis, B.A.; Van Soest, P.J.; Chase, L.E. A 1997. simple method for estimation of neutral detergent-soluble fibre. *J Sci Food Agr*, 74: 441-449.
- Kpodékon, T.M.; Youssao, A.K.; Tossou, C.M.; Djago, A.Y.; Coudert, P. 2008. Effects of molasses incorporation in rabbit fattening diet on growth performances. In Proceedings of the 9th World Rabbit Congress, Verona, Italy, 10-13 June 2008, 711-716.
- Martínez-Vallespín, B.; Martínez-Paredes, E.; Ródenas, L.; Cervera, C.; Pascual, J.J.; Blas, E. 2011. Combined feeding of rabbit female and young: partial replacement of starch with acid detergent fibre or/and neutral detergent soluble fibre at two protein levels. *Livest. Sci.*, 141, 155–165.
- Pascual, M.; Soler, M.D.; Cervera, C.; Pla, M.; Pascual, J.J.; Blas, E. 2014. Feeding programmes based on highly-digestible fibre weaning diets: effects on health, growth performance and carcass and meat quality in rabbits. *Livest Sci*, 169, 88–95.

- Perez, J.M.; Lebas, F.; Gidenne, T.; Maertens, L.; Xiccato, G.; Parigi-Bini, R.; Dalla Zotte, A.; Cossu, M.E.; Carazzolo, A.; Villamide, M.J.; *et al.*, 1995. European reference method for in vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci*, 3, 41–43.
- SAS Institute. *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2009.
- Soler, M.D.; Blas, E.; Cano, J.L.; Pascual, J.J.; Cervera, C.; Fernández-Carmona, J. 2004. Effect of digestible fibre/starch ratio and animal fat level in diets around weaning on mortality rate of rabbits. In Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla, Mexico, 7-10 September 2004, 996-1001.
- Tazzoli, M.; Birolo, M.; Filiou, E.; Trocino, A.; Zuffellato, A.; Xiccato, G. 2013. Increasing dietary energy with starch and soluble fibre and reducing ADF at different protein levels for growing rabbits. *Agric Conspec Sci*, 78, 235–239.
- Tazzoli, M.; Carraro, L.; Trocino, A.; Majolini, D.; Xiccato, G. 2009. Replacing starch with digestible fibre in growing rabbit feeding. *It J Anim Sci*, 8, 148-150.
- Tazzoli, M.; Trocino, A.; Birolo, M.; Radaelli, G.; Xiccato, G. 2015. Optimizing feed efficiency and nitrogen excretion in growing rabbits by increasing dietary energy with high-starch, high-soluble fibre, low-insoluble fibre supply at low protein levels. *Livest Sci*, 172, 59-68.
- Trocino, A.; Fragkiadakis, M.; Majolini, D.; Tazzoli, M.; Radaelli, G.; Xiccato, G. 2012. Soluble fiber, starch and protein level in diets for growing rabbits: Effects on digestive efficiency and productive traits. *Anim Feed Sci Tech*, 180, 73-82.

- Trocino, A.; García, J.; Carabaño, R.; Xiccato, G. 2013. A meta-analysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci*, 21, 1–15.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583–3597.
- Xiccato, G.; Trocino, A.; Carraro, L.; Fragkiadakis, M. 2006. Digestible fibre to ADF ratio and protein concentration in diets for early weaned rabbits. In Proceedings of the 3rd Rabbit Congress of America, Maringá, Brasil, 21-23 August 2006 Comm. 35: 1-6.
- Xiccato, G.; Trocino, A.; Carraro, L.; Fragkiadakis, M.; Majolini, D. 2008. Digestible fibre to starch ratio and antibiotic treatment time in growing rabbits affected by epizootic rabbit enteropathy. In Proceedings of the 9th World Rabbit Congress, Verona, Italy, 10-13 June 2008, pp. 847-851.
- Xiccato, G.; Trocino, A.; Majolini, D.; Fragkiadakis, M.; Tazzoli, M. 2011. Effect of decreasing dietary protein level and replacing starch with soluble fibre on digestive physiology and performance of growing rabbits. *Animal*, 5, 1179-1187.
- Xiccato, G., & Trocino, A. 2020. Energy and protein metabolism and requirements. In *Nutrition of the Rabbit* (pp. 89-125). Wallingford UK: CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789241273.0089>

IV. DISCUSIÓN GENERAL

4.1. DISCUSIÓN GENERAL

De forma general en la investigación se empleó y caracterizó la pulpa granulada de remolacha como fuente de energía, proteína, y sobre todo fibra, en la alimentación del conejo, un animal monogástrico fermentador posterior (Xiao *et al.*, 2015), a partir del conocimiento que este subproducto viene siendo utilizado como alimento para cerdos para mejorar la salud intestinal y la calidad de la carne en cerdos de , La dieta suplementada con SBP podría ser beneficiosa para mejorar la salud intestinal (Diao *et al.*, 2020) y la calidad de la carne en cerdos (Badaras *et al.*, 2022), la productividad y la calidad de carne en pollos (Koschayev *et al.*, 2019), la producción de leche en vacas (Mohsen *et al.*, 2021) y en el engorde de vacunos de carne (Jeong *et al.*, 2022).

Respecto a la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), esta pertenece a la familia de las Quenopodiáceas, contiene una alta concentración de sacarosa, por lo que se extrae azúcar y subproductos (Tayyab *et al.*, 2023), donde uno de esos residuos es la pulpa de remolacha (PR), subproducto utilizado en la alimentación de animales rumiantes y conejos, en los que representa más del 20 o 10% de la ración diaria (Omer *et al.*, 2013, Münnich *et al.*, 2017 y Delgado *et al.*, 2018). La evaluación del valor nutritivo de pulpa granulada de remolacha (PGR), proveniente de las factorías de España, mediante los métodos oficiales de la AOAC (2016), evidenció que PGR es un subproducto de alto contenido de fibra soluble e insoluble, el contenido en fibra detergente neutro corregida por ceniza y proteína (FDN_{cp}) varió, con relación a la época; la fibra soluble varió también con la época; el contenido de proteína bruta y aminoácidos fue bajo y similar en ambas épocas; los ácidos grasos más representativos fueron linoleico, palmítico y oleico, con similares niveles entre épocas. A partir de los resultados se establece que PGR de España es una importante fuente de fibra soluble e insoluble, aunque no es una fuente importante de PB, aminoácidos ni ácidos grasos. Además, las

pulpas obtenidas en invierno mostraron mayor contenido de FSDN y menor en FDN.

Una vez caracterizada, la tesis se centró en determinar el valor nutritivo de la pulpa granulada de remolacha de diferentes factorías de España en conejos destetados, por el método de sustitución por colección fecal total; con alimentación individualizada y consumo *ad libitum*. Estos resultados nos permitirán posteriormente desarrollar piensos comerciales que incluyan PGR en su formulación. Los resultados indicaron que la digestibilidad de las pulpas granuladas de remolacha en conejos fue similar, en cuanto a digestibilidad de la materia seca ($76.0 \pm 6.3\%$) y materia orgánica ($76.7 \pm 5.8\%$), con una tendencia a ser mayor para la pulpa de remolacha de Olmedo. En cambio, hubo diferencias en la digestibilidad de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, con la mejor respuesta para la pulpa Olmedo. La digestibilidad de la proteína y el contenido de proteína digestible fueron también similares con $62.3 \pm 6.3\%$ y $5.2 \pm 0.6\%$, respectivamente. En forma similar, el contenido de energía digestible no difirió, con un promedio de 12.8 ± 0.8 KJ/g de materia seca y una eficiencia de uso de 0.72 ± 0.05 con relación a la energía bruta. A partir de los resultados se confirmó que la PGR tiene buena digestibilidad y constituye una importante fuente de energía digestible para conejos.

Finalmente, el tercer estudio o experimento tuvo como objetivo determinar el efecto del nivel de PGR, con y sin melaza, en el consumo de pienso, la ganancia de peso, la actividad cecal y la mortalidad en conejos de cebo. Este tipo de estudios finales son fundamentales para determinar en condiciones *in vivo* hasta qué nivel se puede incluir las diferentes PGR en los piensos, a niveles isoenergéticos e isoproteicos a partir de los estudios previos, sin que esta afecte al rendimiento productivos y la salud de los conejos de engorde. El nivel de inclusión de PGR tuvo efecto en el consumo de pienso y la ganancia de peso vivo,

siendo los tratamientos con una inclusión del 20% de PGR (con o sin melaza) los de mejor respuesta. El pH gástrico, pH y N-NH₃ cecal no difirió entre piensos, aunque sí difirió el contenido de AGV del contenido cecal, pues se apreció que todos los piensos con PGR expresaron las mayores concentraciones de AGV, con una alta relación acetato:propionato (18:1). No se observó efecto del nivel de PGR en el pienso en la morbilidad y la mortalidad, con una ventaja numérica en el índice de riesgo sanitario a favor de la inclusión de PGR sin melaza.

De lo descrito anteriormente es posible sostener que la pulpa de remolacha azucarera es una buena fuente de fibra soluble, que cuando se usa correctamente puede ayudar a mejorar la salud digestiva de los conejos en crecimiento después del destete. Sin embargo, los resultados de este estudio han demostrado que es muy importante tener en cuenta la calidad y el nivel de inclusión de la pulpa de remolacha utilizada para obtener los resultados deseados. El uso de una pulpa de remolacha con melaza (y otros subproductos en menor proporción, como destilería), y caracterizada por tener una menor digestibilidad de su proteína, aumentó incluso la incidencia de trastornos digestivos en un brote de ERE. Por otro lado, debido a su capacidad para aumentar el contenido total del tracto digestivo y la menor tasa metabólica de su fibra soluble, se debe limitar el nivel de inclusión de pulpa de remolacha para evitar un deterioro excesivo del rendimiento de la canal.

A partir de la evidencia productiva y sanitaria se concluye que la PGR sin melaza, incluida al 20% en el pienso, podría ser de utilidad para la alimentación de conejos de cebo.

4.2. REFERENCIAS

- AOAC. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: June 22, 2018].
- Badaras, S., Klupsaite, D., Ruzauskas, M., Gruzauskas, R., Zokaityte, E., Starkute, V., Mockus, E., Klementaviciute, J., Cernauskas, D., Dauksiene, A., Vadopalas, L., & Bartkiene, E. (2022). Influence of sugar beet pulp supplementation on pigs' health and production quality. *Animals*, *12*, 2041.
- Delgado, R. Nicodemus, N., Abad-Guamán, R., Sastre, J., Menoyo, D., Carabaño, R. & García, J. 2018. Effect of dietary soluble fibre and n-6/n-3 fatty acid ratio on growth performance and nitrogen and energy retention efficiency in growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 239: 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.006>
- Diao, H., Jiao, A., Yu, B., He, J., Zheng, P., Yu, J., Luo, Y., Luo, J., Mao, X., & Chen, D. (2020). Beet pulp: An alternative to improve the gut health of growing pigs. *Animals*, *10*, 1860.
- Jeong, I., Na, S. W., Kang, H. J., Park, S. J., Jung, D. J. S., Beak, S. H., Lee, J., Kim, D. H., Kim, H. J., Malekkhahi, M., Ranaweera, K. K. T. N., & Baik, M. (2022). Partial substitution of corn grain in the diet with beet pulp reveals increased ruminal acetate proportion and circulating insulin levels in korean cattle steers. *Animals*, *12*, 1419.
- Koschayev, I., Boiko, I., Kornienko, S., Tatiyanicheva, O., Sein, O., Zdanovich, S., & Popova, O. (2019). Feeding efficiency of dry beet pulp to broiler chickens. *Advances in Biological Sciences Research*, *7*, 167–170.

- Mohsen, M. K., Ali, M. F., Gaafar, H. M., Al-Sakka, T. S., Aboelenin, S. M., Soliman, M. M., & Dawood, M. A. O. (2021). Article impact of dry sugar beet pulp on milk production, digestibility traits, and blood constituents of dairy holstein cows. *Animals*, *11*, 3496.
- Münnich, M., Khiaosa-ard, R., Klevenhusen, F., Hilpold, A., Khol-Parisini, A., Zebeli, Q. 2017. A meta-analysis of feeding sugar beet pulp in dairy cows: effects on feed intake, ruminal fermentation, performance, and net food production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 224: 78-89. ISSN 0377-84011
- Omer H. A. A., Abdel-Magid S. S., El-Badawi A. Y., Awadalla I. M., Mohamed M. and Zaki M. S.. 2013. Nutritional impact for the whole replacement of concentrate feed mixture by dried sugar beet pulp on growth performance and carcass characteristics of ossimi sheep. *Life Sci. J.*, 10: 1987-1999.
- Tayyab, M., Wakeel, A., Mubarak, M. U., Artyszak, A., Ali, S., Hakki, E. E., Mahmood, K., Song, B., & Ishfaq, M. (2023). Sugar beet cultivation in the tropics and subtropics: Challenges and opportunities. *Agronomy*, *13*, 1213.
- Xiao, J., Metzler-Zebeli, B. U., & Zebeli, Q. (2015). Gut function-enhancing properties and metabolic effects of dietary indigestible sugars in rodents and rabbits. *Nutrients*, *7*, 8348–8365.

V. CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de la presente Tesis Doctoral se puede concluir que,

1. La pulpa granulada de remolacha de la industria azucarera de España es un subproducto con alto contenido de fibra, tanto soluble como insoluble, pero pobre en proteína, aminoácidos y ácidos grasos; con pulpas de invierno que contienen mayor fibra soluble y menor fibra insoluble, con relación a pulpas de verano, lo que podría condicionar su valor nutritivo, por lo que es necesario caracterizar la naturaleza química de los carbohidratos complejos de la fibra.
2. La inclusión de pulpa granulada de remolacha al 20 % en el pienso aumenta los coeficientes de digestibilidad fecal aparente de todas las fracciones fibrosas y disminuye los de la proteína, aunque el efecto es variable dependiendo de su origen, lo que influye también en su valor nutritivo, tanto en contenido de energía como proteína digestible.
3. Es muy importante tener en cuenta la calidad y el nivel de inclusión de la pulpa granulada de remolacha a utilizar para obtener los resultados deseados. El uso de la pulpa granulada de remolacha fabricada con inclusión de melaza aumenta la incidencia de trastornos digestivos en un brote de enteropatía mucoide del conejo.
4. El nivel de inclusión de pulpa granulada de remolacha se debe limitar para evitar un deterioro excesivo del rendimiento de la canal, debido a su capacidad para aumentar el contenido total del tracto digestivo y la menor tasa metabólica de su fibra soluble, recomendándose la

inclusión de hasta un 20% de pulpa granulada de remolacha sin melazas como fuente de fibra en las dietas para conejos, a fin de mejorar de forma general el valor nutritivo de los piensos y reducir el riesgo de trastornos digestivos.