



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

**Evaluación del comportamiento productivo y de la presencia de kafirinas  
en cecotrofos y heces duras en conejos en engorda alimentados con sorgo  
y diferentes niveles de fibra detergente neutro**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciado en Medicina Veterinaria y Zootecnia

**Presenta:**

Erick Rolando Ramos Olvera

## RESUMEN

Para evaluar el efecto de la alimentación de conejos en engorda con maíz o sorgo y diferentes niveles de fibra detergente neutro (FDN) sobre las variables morfofisiológicas, se elaboraron 4 dietas experimentales, las cuáles fueron isoproteicas (16% PC) e isoenergéticas (2.8 Mcal EM/kg): dieta (D) control elaborado con maíz y 33% de FDN (D1), y tres dietas a base de sorgo con 28, 33 y 38% de FDN (D2, D3 y D4, respectivamente). Se engordaron los conejos desde el destete (30 d) hasta los 72 d de vida. Al finalizar la engorda, los conejos se mataron, se pesaron las canales y se calculó el rendimiento de canal en caliente y frío. A las canales en caliente y frío, también se les midió el pH de la carne a nivel de los músculos *biceps femoris*, *biceps brachii* y músculo *longissimus dorsi*. Se obtuvieron los órganos gastrointestinales y se midió el pH de sus contenidos, se pesaron los órganos vacíos y se midieron en su longitud. Respecto al peso de la canal caliente, el consumo de un 38% de FDN ocasionó un menor peso que aquellos que consumieron 28% de FDN y sorgo (D2) o 33% de FDN y maíz (D1). Al considerar el peso de la canal fría, el haber consumido un mayor nivel de FDN (D4) ocasionó un menor peso. El peso del estómago fue incrementándose conforme se incrementó el nivel de FDN consumido. En conclusión, el sorgo puede ser empleado como grano base en dietas para conejos al no afectar significativamente los parámetros productivos. Se debe considerar el nivel de inclusión de FDN ya que un elevado porcentaje de esta afecta negativamente el peso de la canal, así como el pH de los contenidos gastrointestinales.

**Palabras clave:** sorgo, fibra detergente neutro, isoproteicas, isoenergéticas.

## SUMMARY

To evaluate the effect of feeding of rabbits in fattening with corn or sorghum, and different levels of neutral detergent fiber (NDF) on morphophysiological variables, 4 experimental diets were prepared, which were isoproteic (16% PC) and isoenergetic (2.8 Mcal EM/kg): diet (D) control elaborated with corn and 33% of NDF (D1), and three sorghum-based diets with 28, 33 and 38% of NDF (D2, D3 and D4, respectively). The rabbits were fattened from weaning (30 d) to the 72 d of life. At the end of fattening, the rabbits were slaughtered, the carcasses were weighed, and the hot and cold carcass performance was calculated. In hot and cold carcasses, the pH of the meat was also measured at the level of the *biceps femoris*, *biceps brachii*, and *longissimus lumborum* muscles. The gastrointestinal organs were obtained, and the pH of the contents were recorded, the empty organs were weighed and measured in length. Regarding the weight of the hot carcass, the consumption of 38% NDF caused a lower weight than those that consumed 28% of NDF and sorghum (D2) or 33% of NDF with corn (D1). Considering the weight of the cold carcass, having consumed a higher level of NDF (D4) caused in a lower weight. The weight of the stomach was increasing as the level of NDF consumed increased. In conclusion, sorghum can be used as a base grain in diets for rabbits because it does not significantly affect production parameters. The level of inclusion of NDF should be considered since a high percentage of it negatively affects the weight of the carcass, as well as the pH of the gastrointestinal contents.

**Key words:** sorghum, neutral detergent fiber, isoproteic, isoenergetic.

## DEDICATORIAS

A mi Mamirosoy que es el pilar más fuerte de mi vida y a la que le tengo mucho que agradecer por haberme criado, cuidado y enseñado gran parte de lo que sé en esta vida. Es un ser ejemplar y maravilloso que siempre se ha preocupado por todos y cada uno de los integrantes de nuestra familia.

A mis padres, Erika y Alejandro por el enorme esfuerzo que han hecho para sacarme adelante cada día de mi vida.

A mi tía Norma y a mi tío Javier que me han apoyado a lo largo de toda mi vida de manera incondicional, les agradezco muchísimo todo lo que han hecho por mí.

A mi tía Adelina y mi tío José que de igual manera me han apoyado desde que era niño y siempre se han preocupado por mí, les agradezco mucho que a pesar de la distancia se acuerden de mí, me apoyen y me tomen en cuenta.

A mis demás tíos: Rubén, Gaby, Jaime y René que me han brindado su apoyo en el momento que lo he requerido, les agradezco por estar siempre presentes conmigo y con la familia.

A mis primas, Liz y Danely por siempre sacarme una gran sonrisa con su humor que las caracteriza, y a mis tíos: Maribel y Eduardo, y Chefito y Carmen a los cuales quiero y admiro bastante.

A mi mejor amiga Carolina por apoyarme desde que íbamos en la secundaria y hasta la fecha, le agradezco mucho su amistad.

A Mauricio y Alfredo a los cuales estimo mucho y agradezco que me hayan compartido un capítulo de su vida.

A mis compañera Karla por haber compartido buenos momentos a lo largo de toda la carrera.

A mis amigos: Mariana, Christian, Carlos, Alberto, Andrea, Roberta y Arturo que para mí son personas maravillosas, que agradezco muchísimo haberlas conocido y que ahora formen parte de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco muchísimo al Dr. José por guiarme en el aspecto académico y personal, le agradezco la oportunidad que me dio de formar parte de este excelente equipo. Sin su apoyo incondicional no hubiera sido posible concluir esta importantísima parte de mi vida. Gracias por esta enorme experiencia de la cual aprendí bastante.

Especialmente le agradezco al ingeniero Salvador por su apoyo incondicional que nos brindó durante la realización del proyecto, gran ejemplo de ser humano que se caracteriza por su bondad, amabilidad y sobre todo por su inteligencia, sin su ayuda no hubiera sido posible concluir este proyecto.

De la misma manera quiero agradecerle a la Dra. Tercia Reis, la Dra. Araceli Aguilera, la Dra. Alma Córdoba y al Dr. Konisgmar por su gran apoyo durante este proceso.

Le agradezco a la técnico del Laboratorio de Nutrición Animal, Lic. Aurora por su enorme apoyo en la enseñanza de la realización de las pruebas de laboratorio empleadas en este trabajo. De la misma manera a la técnico Leticia por su gran apoyo.

Le agradezco a Mariana, Christian, Alberto, Andrea, Carlos, Arturo y Roberta por su enorme apoyo, fueron un pilar muy importante durante todo el proyecto, muchas gracias por esos largos días de trabajo, me enseñaron más cosas de las que yo pude haber llegado a enseñarles, son el mejor equipo ARCUN-UAQ.

## I. TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	2
SUMMARY .....	3
DEDICATORIAS.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
I. TABLA DE CONTENIDOS.....	6
II. ÍNDICE DE CUADROS.....	8
III. ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. ANTECEDENTES.....	10
2.1 Origen y generalidades del conejo.....	10
2.2 Generalidades de la cunicultura.....	12
2.3 Producción de conejo en México .....	13
2.3.1 Producción de conejo a nivel mundial.....	14
2.4 Carne de conejo .....	15
2.4.1 Composición química.....	16
2.4.2 Anatomía y fisiología digestiva del conejo .....	17
2.5 Boca y esófago .....	19
2.5.1 Ingestión y digestión bucal.....	19
2.5.2 Estómago .....	20
2.5.3 Digestión gástrica .....	20
2.5.4 Intestino delgado .....	21
2.5.5 Digestión intestinal.....	21
2.5.6 Secreción hepática y pancreática.....	23
2.5.7 Intestino grueso: ciego, colon y recto.....	24
2.5.8 Digestión en intestino grueso .....	24
2.5.9 Cecotrofia, cecotrofos y heces duras .....	26
2.6 Requerimientos nutricionales para crecimiento y producción.....	28
2.6.1 Proteínas .....	28
2.6.2 Carbohidratos .....	32
2.6.3 Lípidos.....	32

2.6.4	Fibra.....	33
2.7	Sorgo.....	34
2.7.1	Composición del sorgo.....	35
2.7.2	Kafirinas.....	36
III.	HIPÓTESIS.....	38
IV.	OBJETIVOS.....	39
4.1	Objetivo general.....	39
4.2	Objetivos particulares.....	39
V.	METODOLOGÍA.....	40
5.1	Animales y alojamiento.....	40
5.2	Análisis químico de la materia prima para elaborar las dietas experimentales.....	41
5.3	Dietas experimentales.....	41
5.4	Prueba de comportamiento productivo.....	42
5.5	Determinación del peso de los órganos gastrointestinales, pH del contenido digestivo, así como del peso de la canal caliente y fría, y el rendimiento en canal.....	43
5.6	Evaluación de la composición química de heces blandas y duras a diferentes edades.....	44
5.7	Detección de las fracciones de kafirinas del sorgo en heces blandas y duras.....	45
5.8	Análisis estadístico.....	46
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
VII.	CONCLUSIONES GENERALES.....	63
VIII.	LITERATURA CITADA.....	64

## II. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del conejo.....	13
Cuadro 2. Porcentaje de componentes en cecotrofos y heces duras.....	28
Cuadro 3. Recomendaciones para la composición de alimentos peletizados con 88% de MS.....	30
Cuadro 4. Recomendaciones de proteína y aminoácidos para conejos en crecimiento de acuerdo con diferentes autores (en base seca) .....	32
Cuadro 5. Aminoácidos presentes en el sorgo.....	36
Cuadro 6. Clasificación y peso molecular de las kafirinas.....	37
Cuadro 7. Ingredientes y composición química de los tratamientos experimentales (% Materia Seca).....	43
Cuadro 8. GDP semana y por dieta (D).....	48
Cuadro 9. Interacción semana*D para la GDP semanal.....	50
Cuadro 10. Peso y rendimiento de la canal y, PR y longitud de los órganos digestivos.....	53
Cuadro 11. pH de los contenidos de los órganos digestivos y de la canal.....	56
Cuadro 12. Composición química de heces duras y cecotrofos a la 6 <sup>ta</sup> semana de engorda.....	58

Dirección General de Bibliotecas UAQ



### III. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía general del sistema digestivo del conejo.....	19
Figura 2. Fibras alimentarias: tipo de fibra y métodos de análisis.....	35
Figura 3. Gel de electroforesis con azul de Coomassie y proteínas no digeridas por los conejos alimentados con diferentes concentraciones de FDN en sus dietas.....	60
Figura 4. Western blot con fracciones de kafirinas no digeridas por los conejos alimentados con diferentes concentraciones de FDN en sus dietas.....	61

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## I. INTRODUCCIÓN

La producción cunícola en México es una actividad ganadera que aporta proteína de origen animal de alta calidad e ingresos económicos extras a muchas familias en el medio rural y urbano (Ruíz, 1993). La alimentación de los conejos y del sector pecuario en general corresponde hasta el 70% de los costos de producción totales, destacando el sorgo como el cereal más utilizado en la alimentación del ganado en México (Mariscal-Landín *et al.*, 2004; Núñez-Torrez, 2017). A pesar de que la inclusión de cereales en las dietas para conejos es baja comparada con otros monogástricos como los cerdos y las aves, estos tienen una gran importancia debido a su aporte energético. Además, el sorgo presenta una composición química muy parecida a la del maíz, por lo que se pueden añadir ambos cereales en las dietas para conejos (Carabaño, 1995). Sin embargo, la calidad proteica del grano del sorgo es baja debido a la deficiencia de lisina (MacLean *et al.*, 1981), y el alto contenido de prolaminas (kafirinas) se relaciona negativamente con la disminución de su digestibilidad (Duodu *et al.*, 2003; Wong *et al.*, 2009). El conejo como monogástrico herbívoro presenta una fisiología digestiva adaptada al alto consumo de fibra, la cual es fermentada en el ciego y el colon proximal para la formación de ácidos grasos volátiles que le sirven como fuente principal de energía (Gidenne *et al.*, 2000). Debido a que el consumo de fibra en los conejos es mayor que en la mayoría de las especies pecuarias, se debe ofrecer el mínimo recomendado para evitar un incremento en la incidencia de patologías digestivas, siendo el nivel recomendado de 33% de fibra detergente neutro (FDN; De Blas *et al.*, 1999). En la presente investigación se analizó el efecto del consumo de dietas elaboradas con sorgo y diferentes niveles de FDN sobre algunas variables morfofisiológicas de los órganos gastrointestinales, así como el comportamiento productivo en engorda y el análisis de las fracciones de kafirinas presentes en las heces duras y los cecotrofos.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Origen y generalidades del conejo

El conejo europeo o también conocido como conejo ibérico, es el antecesor directo del conejo que se conoce actualmente, vivió en el centro y sur de Europa desde hace más de 2 millones de años. Tiene su origen en el sur de la Península Ibérica (López-Martínez, 1989; Camps, 2001) debido a las dos últimas glaciaciones que afectaron al continente europeo en las que se vieron obligados a emigrar y a ocupar esta zona en busca de refugio, estableciendo

la aparición de dos subespecies del género *Oryctolagus*, la subespecie *O. cuniculus algirus* distribuida en la porción Suroccidental de la Península Ibérica, Sudoeste de España incluyendo Portugal y la subespecie *O. cuniculus cuniculus* extendida por el Nordeste de la Península y en el Sudeste de Francia la que es considerada como el origen del conejo doméstico, hecho que ocurrió en los últimos 200 000 a 150 000 años (Biju-Duval, 1991; Camps, 2001; Carneiro, 2009).

Las características de esta especie, entre las que destaca su gran prolificidad y como fuente de consumo, incitaron su introducción a diferentes regiones del mundo como lo fue Asia, África, Australia, Nueva Zelanda y América, además de formar parte importante del sustento alimenticio para los viajeros interoceánicos (Camus, 2008). El arribo a América tiene su origen con el descubrimiento español cuando reinaban los Reyes católicos, quienes fueron los que atendieron las peticiones del Almirante Cristóbal Colon de llevar, en su segundo viaje (el 25 de septiembre de 1493) vegetales y animales entre los que destacaron: becerros, puercos, gallinas, caballos, asnos y conejos, por lo que según Camps (2008) deduce que al separar por sexos era con el motivo de reproducirlos en el Nuevo Mundo.

En un principio los conejos fueron clasificados como roedores por lo que en el pasado se consideró que eran parte del Orden Rodentia (ratas y ratones) hasta que fue reconocido el Orden Lagomorpha en 1912 y pasaron a incluirse en este nuevo orden. Anatómicamente los conejos son diferenciados de los roedores al incluir un segundo conjunto de incisivos que se encuentran situados posteriormente a los incisivos frontales superiores. Quedando de la siguiente manera: Orden Rodentia con 2 incisivos superiores y 2 inferiores, y Orden Lagomorpha con 4 incisivos superiores y 2 inferiores (Alves *et al.*, 2008; Lorenzo y Ruiz, 2013; Fernández *et al.*, 2015). Permaneciendo en la actualidad su clasificación taxonómica como se muestra en el Cuadro 1.

El orden Lagomorpha que incluye a los conejos y liebres, está dividido en dos familias. En la primera familia se incluye a 30 especies de picas (un género, *Ochotona*, y una familia, Ochotonidae) y en la segunda a conejos y liebres (11 géneros, 61 especies y una familia, Leporidae) dentro de ellos destaca la especie *Oryctolagus cuniculus*, que es motivo de importancia para el hombre en la obtención de carne (Hoffman *et al.*, 2005; Alves *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del conejo.

Reino	<i>Animalia</i>
Phylum	<i>Chordata</i>
Clase	<i>Mammalia</i>
Orden	<i>Lagomorpha</i>
Familia	<i>Leporidae</i>
Nombre científico	<i>Oryctolagus cuniculus</i> Linnaeus, 1758 (Álvarez <i>et al.</i> , 2005)

Esta especie manifiesta un alto potencial biológico debido a que reproductivamente las hembras presentan características diferentes, como la ausencia de un ciclo estral definido y regular, además de que la ovulación es inducida mediante los estímulos del coito, de ahí que la hembra se muestra constantemente apta para ser fecundada, aunque algunos autores afirman que la coneja presenta ciclos con duración de 16 días, con ello podemos afirmar que el conejo es una especie elevadamente prolífica y con un ciclo reproductivo corto que le permite tener un promedio de 7-9 gazapos por camada con un periodo de gestación de 31 días aproximadamente, en un lapso promedio de 45 días entre dos partos consecutivos, con lo cual es posible lograr 8 partos/hembra/año, aunado a esto, las hembras alcanzan una madurez sexual de los 4 a los 6 meses dependiendo la raza, con una vida productiva de 3 a 4 años en promedio, convirtiéndola en una especie con excelentes características para su producción intensiva. Además, los conejos cuentan con peculiaridades digestivas importantes que los diferencian de las demás especies domésticas, estas características como lo es la cecotrofia que le permite ingerir alimento brusco o con un alto contenido de fibra y obtener el máximo aprovechamiento de éste para así transformarlo en proteína de origen animal con un alto valor biológico (Lebas *et al.*, 1996; De Blas *et al.*, 1999; De Blas *et al.*, 2002; Fuentes *et al.*, 2010; Scapinello, 2014).

## 2.2 Generalidades de la cunicultura

La cunicultura comienza con la completa domesticación del conejo, que se produjo probablemente hacia el siglo V o VI, siendo responsables de la misma los monasterios medievales franceses. A finales del siglo XII existía, de una u otra forma, un tránsito de

conejos entre un país y otro, como se evidencia en documentos que muestran intercambios entre Francia y Alemania. A pesar de que a finales de la Edad Media, los conejos ya se encontraban ampliamente difundidos, fue hasta 1883 en que Morant le dio nombre a una forma particular de alojar a los conejos que consistía en una caja o jaula móvil con piso de malla de alambre, a través de la cual los conejos podían acceder a la hierba de debajo, con una rudimentaria cubierta y tapados los lados excepto por su parte frontal, podía usarse para el engorde o, con un nido, para la reproducción. Este sistema fue usado ocasionalmente hasta 1950 (Sandford, 1992).

La cunicultura se puede definir como el arte de la cría del conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y que, planteada como una actividad con retribución económica, se define como a la cría, el manejo y la explotación racional de los conejos, con el propósito de obtener carne de excelente calidad al mejor costo, en otras palabras, tiene el propósito de obtener un máximo rendimiento con el mínimo de gastos (Campos, 2008; Camacho *et al.*, 2010).

En México y en el mundo existen un gran número de razas de conejos que se emplean con diferentes fines zootécnicos de acuerdo con sus características particulares como lo es la producción de pelo y piel para su curtido y confección, de exhibición, y para la producción de carne, y en algunos casos particulares con fines de doble propósito. Entre las razas más empleadas en México se encuentra la raza Nueva Zelanda, la California y la Chinchilla, las cuales son seleccionadas por la industria por su máxima aptitud cárnica (Nava, 2010; Sistema Productivo Cunicola del Distrito Federal, 2012). Desde el punto de vista de la producción de carne es común clasificar las razas de conejos en función del peso vivo (PV) del animal adulto. Teniendo así razas ligeras: 2 a 3 kg PV; razas medianas: 4 kg PV y razas gigantes 5 a 8 kg PV (Ruiz, 1990; Grepe, 2001; Baselga, 2002; Nava, 2010).

### **2.3 Producción de conejo en México**

La producción cunicola en México tiene una importancia significativa como actividad ganadera ya que aporta un complemento no sólo a la dieta sino a los ingresos de muchas familias en el medio rural y urbano. Sin embargo, la cunicultura en México ha tenido un crecimiento lento, comenzando a partir de los programas brindados por el gobierno en la década de los setenta con el propósito de apoyar a los problemas de desnutrición en las comunidades rurales. El principal factor por el que se vio afectada la cunicultura en México

fue la aparición de la enfermedad vírica hemorrágica en noviembre de 1988, actualmente conocida como enfermedad hemorrágica viral de los conejos (EHVC), cuyo brote fue provocado por la importación ilegal de canales de conejos provenientes de la República Popular China por Nuevo Laredo, Tamaulipas, en la frontera con Texas-Estados Unidos. Por lo tanto, el consumo de carne de conejo se vio afectado debido al efecto negativo que este brote causó a los productores y consumidores (Argüello, 1991; Ruiz, 1993; Heneidi *et al.*, 1997; Gay, 2004).

En la actualidad, la cunicultura en nuestro país está representada por un 80% de traspatio, 15% semiindustrial y 5% de tipo industrial. En México el consumo de carne de conejo representa alrededor del 0.5% del total de los diferentes productos cárnicos, es decir, alrededor de 200 g por habitante por año mientras que en otros países el consumo de la carne de conejo puede llegar a ser de hasta de 5 kg por persona por año (Flores, 2016)

Según datos del Sistema Producto Cunicola del Distrito Federal (2012) México ocupa el vigésimo lugar mundial como productor de carne de conejo, con alrededor de 15 mil toneladas al año, de las cuales 12 mil 500 son de pequeña escala. Las unidades de producción cunícolas se encuentran en mayor concentración en los estados del centro del país, esto es comprensible dado que en la meseta central de México se cuenta con climas que favorecen el desarrollo de esta actividad, al no tener que implementar instalaciones que involucren altos costos de inversión.

Asimismo, datos de las estadísticas de producción cunicola por parte de la Vocalía de Estadística del Sistema Producto Cunicola en México (2016) se contó con un estimado de 389 135 vientres los cuales se encargaron de producir alrededor de 14 374 651 conejos, dando un total de 15 689 toneladas de carne para el año 2016 y un consumo per cápita de 128 g por persona al año para el mismo año. Sin embargo, Oliva (2018) menciona que la FAO para el año 2016 solo registró 4 448 toneladas.

### **2.3.1 Producción de conejo a nivel mundial**

La cunicultura es una actividad que se ha desarrollado a nivel mundial presentando un mayor incremento en zonas del continente europeo. A pesar de todas las bondades biológicas de esta especie, el consumo de su carne en México es muy inferior comparado con

varios países europeos mediterráneos como Francia, España, Italia y Malta (Lebas *et al.*, 1997).

En cuanto al consumo de carne de conejo a nivel mundial, en el 2010 la producción global fue de un millón 692 mil toneladas, de las cuales 54.6 % se concentra en la cunicultura industrial y 43.6 % a pequeña escala. China aporta 669 mil toneladas por año; Italia, 255 mil; Francia 51 mil y España 66 mil toneladas (Sistema Producto Cunicola del Distrito Federal, 2012).

En el caso de Italia, que es líder en cunicultura intensiva, en los últimos 15 años la producción ha aumentado constantemente (2.2% por año). El sector cunicola es el cuarto respecto a la producción zootécnica italiana representando el 9% en total, después de bovinos, porcinos y aves (Xiccato y Trocino, 2007). En la actualidad Italia se caracteriza por la presencia de granjas de tamaño significativo (400 a 1000 hembras) y de alto nivel técnico. La producción se concentra y es la más intensiva en la región de Véneto. Aquí 400 granjas aglutinan 500 000 hembras para una producción de 7 mil toneladas de carne (Corrent, 2003).

A nivel mundial, China ocupa el primer lugar en la producción de conejos; sin embargo, esta producción está orientada a la obtención de pelo de conejo de la raza Angora quedando en segundo término la obtención de carne. España e Italia son países que han desarrollado a través de los años un consumo uniforme en cuanto a la carne de conejo, sus sistemas de producción involucran tanto granjas familiares como sistemas intensivos, sin embargo, a pesar de no ser los únicos países que presentan un alto consumo de este producto, son estas entidades junto con Francia, las que muestran un avance en cuanto al manejo de forma industrial del producto (Sistema Producto Cunicola del Distrito Federal, 2012).

#### **2.4 Carne de conejo**

La carne ha constituido uno de los principales alimentos proveedores de nutrientes, sin embargo, existen controversias con respecto a su rol nutricional, debido a que los consumidores consideran que su ingesta en cantidades elevadas está correlacionada con problemas de salud, como obesidad, enfermedades cardiovasculares y metabólicas, por lo que han reducido su consumo (Schönfeldt y Gibson, 2008). Por lo tanto, muchas personas tienden a modificar su ingesta de alimentos en función de explorar nuevos hábitos dietéticos saludables donde las carnes blancas constituyen una elección favorable (Malavé, 2012).

La carne de conejo, clasificada como carne blanca, ofrece excelentes propiedades dietéticas y nutritivas. Entre sus características benéficas, la carne de conejo tiene un bajo porcentaje de contenido de grasa y colesterol (bajo contenido calórico) y alto porcentaje en aminoácidos esenciales, es magra, tierna, de fácil digestión, alta en proteínas y sales minerales, comparada con la carne de pollo, cerdo, cordero y res (Forrester-Anderson *et al.*, 2006; Rasinska *et al.*, 2018; Valero *et al.*, 2018).

#### **2.4.1 Composición química**

La carne de conejo tiene un considerable valor nutricional pues según Moa (2009) es rica en proteínas de alto valor biológico y están caracterizados por los altos niveles de aminoácidos esenciales, siendo elevado su contenido de lisina (2.12 %), aminoácidos azufrados (1.10 %), treonina (2.01 %), valina (1.19 %), isoleucina (1.15 %) y fenilalanina (1.04 %) (Hernández y Zotte, 2010; Cossu y Capra, 2014). En la porción de carne magra, el contenido de proteína es bastante constante, de 21.5-23 % (Cossu y Capra, 2014; Valero *et al.*, 2018). Además, es una fuente importante de micronutrientes con alta biodisponibilidad, como son las vitaminas. En promedio, el consumo de 100 g de carne de conejo aporta alrededor de 8% de los requerimientos diarios de riboflavina (vitamina B2; 0.1mg), el 12% de ácido pantoténico (vitamina B5), el 21% de piridoxina (vitamina B6; 0.5mg), el 77% de niacina (vitamina B3; 12.5mg) y tres veces las recomendaciones diarias (RDI) de vitamina B12 (10 µg). El contenido mineral, de 1.3 %, se distribuye en 22 mg de calcio, bajo contenido de hierro (1 mg) y sodio (67 mg), 25 mg de magnesio, 360 mg de potasio, 17 µg de selenio y rica en fósforo (220 mg) (Moa, 2009; Valero *et al.*, 2018).

Una ventaja es la ausencia de ácido úrico en la carne y los bajos niveles de bases purínicas debido a su asociación con un número elevado de desórdenes clínicos como la gota, la hipertensión, la enfermedad cardiovascular, la formación de cálculos renales, la enfermedad renal crónica, la inflamación de las articulaciones (principalmente artritis) y algunas enfermedades neurodegenerativas (Moa, 2009; Carvajal, 2016).

Por otro lado, la carne de conejo está caracterizada por un nivel energético menor respecto a las carnes rojas tradicionales, debido a la baja cantidad de grasa que contiene. El corte de carne más magra es el lomo, conteniendo 1.8 % de grasa, mientras que el muslo muestra un contenido de lípidos mayor, con un promedio de 3.4 % (Cossu y Capra, 2014).



Teniendo un promedio de lípidos totales de 4.6 % (Valero *et al.*, 2018). En cuanto a la composición de la grasa, los ácidos grasos insaturados (AGI) representan alrededor del 60 % del total de ácidos grasos (AG), y la cantidad de ácidos grasos polinsaturados (AGPI), que representan el 23-33 % del total de AG, siendo mayor que la encontrada en otras carnes, incluidas las aves (Wood *et al.*, 2008). En comparación con otras especies animales, la de conejo tiene menor contenido de colesterol (47 y 61 mg/100 g de lomo y muslo respectivamente) (Cossu y Capra, 2014).

Finalmente, el valor energético de la carne de conejo es moderado (133 Kcal/100g) que depende sobre todo de su alto contenido de proteína, que representa el 80% del valor energético (Cossu y Capra, 2014; Valero *et al.*, 2018).

#### **2.4.2 Anatomía y fisiología digestiva del conejo**

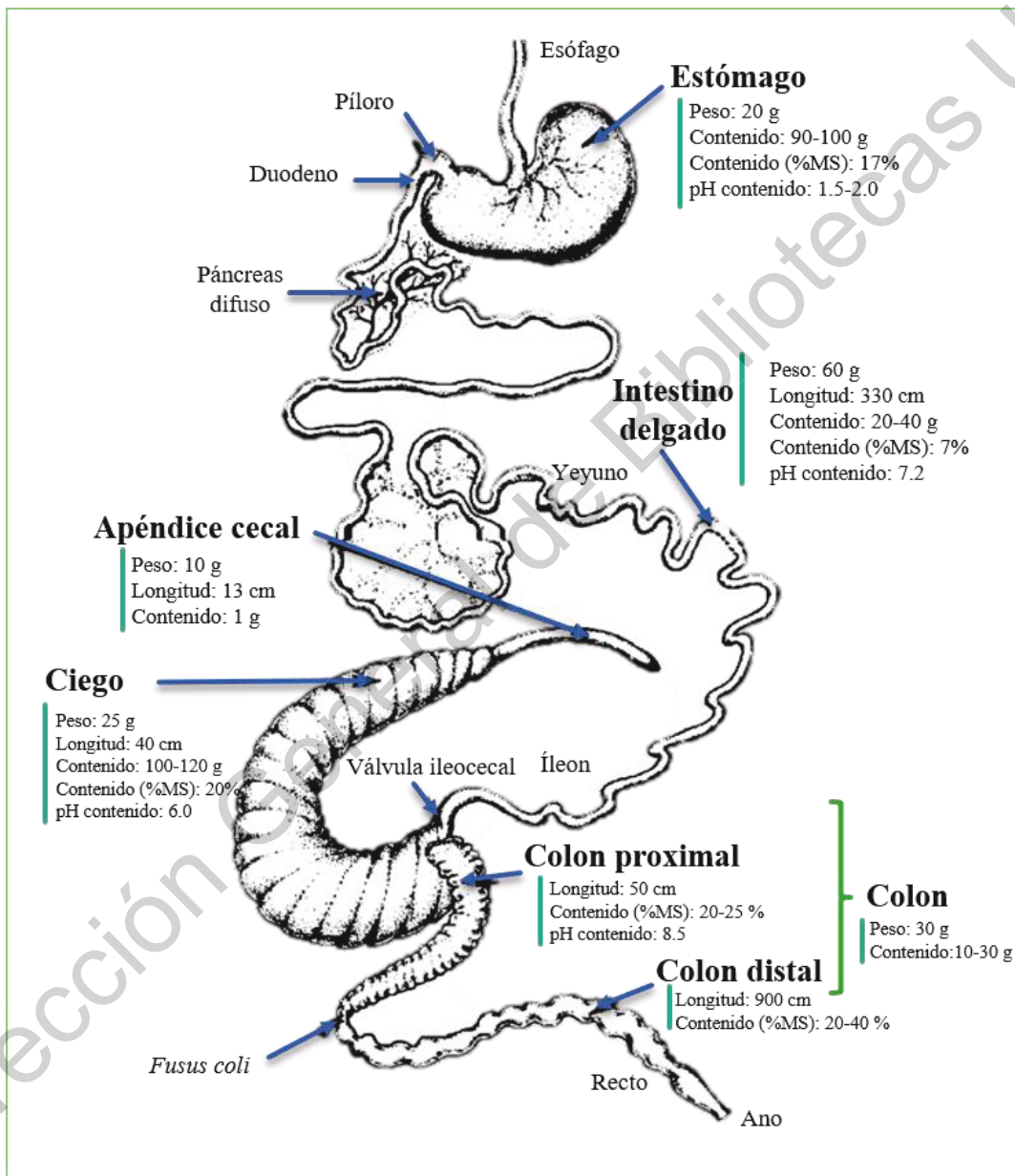
El conejo está considerado como una especie monogástrica, es decir, no rumiante, igual que los cerdos, las aves y los carnívoros. Sin embargo, su fisiología digestiva es mixta, asemejándose a la de los caballos (Domínguez *et al.*, 2008). Por lo tanto, el sistema digestivo del conejo está adaptado para realizar la fermentación de cantidades altas de forraje o fibra (pared celular vegetal) debido a la presencia en el tracto gastrointestinal de una población microbiana celulolítica. De esta forma, el conejo logra aumentar la eficiencia digestiva de las dietas altas en fibra (Cheeke, 1987; Castro, 2009).

En términos sencillos, la fermentación de la pared celular vegetal en el ciego les ha permitido desarrollar una estrategia digestiva que incluye la separación selectiva de partículas de fibra de los componentes no fibrosos con la excreción rápida de la fibra y la retención de los elementos no fibrosos más digeribles (por ejemplo, el almidón) para su fermentación en el ciego (Church *et al.*, 2002).

Los conejos tienen hábitos de pastoreo, y cabe resaltar, que utilizan la cecotofia para conseguir una alta conversión del alimento (Cheeke, 1994); esto les convierte en consumidores muy eficientes de proteínas vegetales, transformando en proteína animal entre un 70 y un 80 % de la proteína de la planta (Harkness, 1990; Harkness y Wagner, 1995; O'Malley, 2007).

El tracto gastrointestinal está conformado por la boca, la faringe, el esófago, el estómago, el intestino delgado y grueso, así como las glándulas anexas (hígado y páncreas), teniendo una longitud de 4.5 a 5 m, como se observa en la Figura 1 (Pérez de Rozas, 2014; Medina y Fuentes, 2018).

Figura 1. Anatomía general del sistema digestivo del conejo.



(Modificado de Lebas *et al.*, 1997)

## 2.5 Boca y esófago

La cavidad oral está conformada por los labios, la lengua, el paladar y la faringe de la cual sigue el esófago como una extensión de esta. La función primaria de la boca es la prehensión, molienda o masticación y el mezclado del alimento junto con la saliva. La entrada del alimento a la boca es llevada a cabo por los labios (Rowen *et al.*, 2009). La parte externa de los labios está cubierta por un revestimiento de piel con pelo, la cual cambia a membrana mucosa en la unión mucocutánea de los márgenes labiales. El conejo dispone de un labio inferior redondeado y de un labio superior hendido muy característico (labio leporino), enmarcando ambos una abertura bucal reducida y de gran motilidad (Domínguez *et al.*, 2008).

Los dientes incisivos del conejo resultan muy característicos, al ser piezas dentarias afiladas en bisel y muy resistentes. Después de los incisivos queda un espacio inter dentario llamado diastema, ya que estos animales carecen de caninos, tras lo cual aparecen los premolares y los molares, piezas que ofrecen una superficie dura y muy rugosa (O'Malley, 2007; Domínguez *et al.*, 2008).

### 2.5.1 Ingestión y digestión bucal

Los alimentos que ingiere el conejo son finamente trozados en el vestíbulo de la cavidad oral por los incisivos y las arcadas molares que funcionan como una sola unidad y trituran las largas fibras de los tallos en pequeños bolos alimenticios que pueden ser deglutidos, de ahí que sea dificultosa la ingestión de alimento molido. A diferencia del alimento, los cecotrofos no son masticados, sino que a nivel bucal se insalivan por 10 a 12 segundos y son deglutidos, por lo que es factible observarlos a nivel estomacal con su estructura íntacta (Gecele, 1986; Brewer y Crusie, 1994).

Existen cuatro pares de glándulas salivales: parótidas, cigomáticas, mandibulares y sublinguales, las cuales se encargan de secretar amilasa en respuesta al alimento que entra en la boca. Sin embargo, su acción sobre el alimento no es significativa debido al corto tiempo de contacto (Brewer y Crusie, 1994; Jenkins, 2000; O'Malley, 2007).

### 2.5.2 Estómago

El estómago es considerado como el primer compartimiento importante del aparato digestivo del conejo, que representa alrededor de un tercio de la capacidad digestiva total, y tiene forma de “J”, con paredes delgadas con escasa musculatura y localizándose en el lado izquierdo (Porstmouth, 1977; Gecele, 1986; O’Malley, 2007; Domínguez *et al.*, 2008). En él se distinguen dos zonas: una zona fúndica y otra pilórica. En la primera el pH es más elevado (3,5; Gutiérrez *et al.*, 2002) y en ella permanecen los cecotrofos durante varias horas después de ser ingeridos (6-8h; Lang, 1981). En esta zona ha sido detectada actividad fibrolítica debida a la actividad de la microbiota presente en los cecotrofos (Marounek *et al.*, 1995), de forma que podría tener lugar una cierta digestión de la fibra. El pH de la zona pilórica es muy bajo (1.2), incluso en animales jóvenes precozmente (Gutiérrez *et al.*, 2002), lo que asegura la desnaturalización de las proteínas alimenticias y una barrera séptica frente a la contaminación microbiana por vía oral (De Blas *et al.*, 2002).

### 2.5.3 Digestión gástrica

En el conejo, a diferencia de otros monogástricos, el estómago presenta una motricidad bastante reducida. Esta es influenciada por el número de ingestas, el tipo de alimento y la presencia o no de cecotrofos. Además de que el pH es siempre muy ácido, este varía según la hora del día: entre las 15 y 3 h el pH desciende a valores entre 1.5 y 2.0, periodo en el que aumenta su intesta de alimento. El pH más alto (es decir, menos ácido) se observa a las 9 h (cuando está más cargado de cecotrofos). Así, estos últimos permanecen un mayor tiempo en estómago indicando que esta atonía parcial y el pH menos ácido permiten que en el interior de los cecotrofos se sigan desarrollando fermentaciones bacterianas con producción de ácido láctico y ácidos grasos volátiles. El estímulo más importante que desencadena la actividad motriz del estómago es la ingesta del alimento, y su duración está directamente relacionada con la cantidad de alimento ingerido. Así, el material que sale hacia el intestino es remplazado con alimento o cecotrofos, por lo cual siempre se encuentra contenido en estado de semi repleción. Se puede estimar que los tiempos de retención a nivel estomacal fluctúan entre 3 y 4 horas para los alimentos y de 6 a 7 horas para los cecotrofos mezclados con el alimento. El estómago, como ya se mencionó, presenta un pH muy ácido, debido a la secreción de ácido clorhídrico, pepsinógeno y algunos minerales como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$ , y debido a las continuas ingestiones de alimento, su secreción es intensa y

continua. Conforme se agrega el jugo gástrico secretado por las paredes de este órgano, el ácido clorhídrico (HCl) actúa sobre el pepsinógeno, precursor de la enzima pepsina, que a su vez actúa sobre las proteínas, reduciéndolas a peptonas para posteriormente seguir su paso al intestino delgado (Gecele, 1986; Domínguez *et al.*, 2008; Lebas, 2013; Pérez de Roza, 2014).

#### **2.5.4 Intestino delgado**

Es un conducto tubular de paredes lisas con una longitud de 2 a 3 m y un diámetro de 1 cm en conejos adultos por lo que se considera relativamente corto ya que constituye solo el 12 % del volumen gastrointestinal (O'Malley, 2007). Inicia su trayecto en el píloro y desemboca en la válvula ileocecal y se divide clásicamente en sus tres porciones: duodeno, yeyuno e íleon. El tránsito digestivo en esta zona es muy rápido, permaneciendo el contenido entre 2 y 4 h (De Blas *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2008; Lebas, 2013).

El duodeno se dispone formando un ángulo agudo respecto al hígado, el cual puede comprimirlo. A diferencia de la mayoría de los mamíferos, el conducto biliar y el pancreático entran en el duodeno en dos lugares diferentes y separados: el conducto biliar próximo al comienzo del duodeno y el pancreático al final (Cruise y Nathan, 1994; O'Malley, 2007; Lebas, 2013).

El yeyuno es ligeramente menos grueso y vascularizado que el duodeno. Los agregados de tejido linfóide (placas de Peyer) en la lámina propia se hacen más prominentes al inicio del íleon. El íleon terminal se ensancha en una dilatación denominada el saco redondo (*sacculus rotundus*), estructura única en el conejo (O'Malley, 2007). A menudo se denomina tonsila cecal; tiene muchos folículos linfoides que le dan una apariencia de panal de abejas (Cruise y Nathan, 1994).

#### **2.5.5 Digestión intestinal**

La motilidad intestinal se puede dividir en diferentes procesos. La segmentación es el proceso involucrado en la mezcla de contenido intestinal mediante la constricción periódica estática de la pared intestinal, y es particularmente importante en el duodeno del conejo. El peristaltismo es un proceso diferente e implica un anillo de contracción que se mueve gradualmente a lo largo del intestino, generalmente en una dirección aboral. La regulación del movimiento peristáltico involucra una serie de hormonas y péptidos

gastrointestinales, que incluyen la colecistoquinina, somatostatina, péptido intestinal vasoactivo y la “sustancia P” (Cheeke, 1987; Rees Davis y Rees Davis, 2003).

La motilidad del intestino delgado en el conejo, como en el ser humano, pero en contraste con la mayoría de las otras especies animales, está regulada en parte por la motilina, un péptido secretado por las células enterocromafínicas del duodeno y el yeyuno, promoviendo las contracciones del músculo liso (Ito, 1990; Rees Davis y Rees Davis, 2003). Su liberación es estimulada por la presencia de grasas e inhibida por la presencia de carbohidratos dentro del contenido intestinal (Brewer y Cruise, 1994).

El contenido estomacal (quimo) pasa al intestino delgado, donde es sometido, en primer lugar, a la acción de la secreción biliar (bilis), que es excretada en las primeras porciones del duodeno con un pH cercano a la neutralidad (6.4-6.7) y junto con la secreción de las glándulas de la mucosa duodenal (pH 8-8.2) cuya alcalinidad se debe a la concentración de bicarbonatos que neutralizan la acidez del quimo proveniente del estómago con un pH que oscila entre 1.8 y 2.2, jugando un rol importante en los procesos digestivos mediante el acondicionamiento del medio a un pH alcalino para la consecuente activación de los complejos enzimáticos provenientes de la secreción pancreática (Gecele, 1986). La digestión y absorción del intestino delgado en el conejo son similares a las de otras especies. Los iones bicarbonato se secretan en el duodeno para neutralizar la acidez del quimo proveniente del estómago. La mayor parte de la digestión de carbohidratos y proteínas simples tiene lugar en el duodeno y el yeyuno, y los productos de esta digestión (monosacáridos, aminoácidos, etc.) se absorben a través de las células del borde de cepillo yeyunal. Esto incluye la absorción de los productos biológicos obtenidos de la fermentación de los cecotrofos, como aminoácidos, ácidos grasos volátiles, vitaminas y microorganismos digeridos. La lisis de los microorganismos dentro de los cecotrofos también libera enzimas microbianas, especialmente la amilasa, que mejora los propios procesos digestivos del conejo. El íleon también juega un papel importante en la regulación y el reciclaje de los electrolitos secretados por el estómago y el intestino delgado proximal mediante la reabsorción de iones de bicarbonato (Cheeke, 1987; Rees Davis y Rees Davis, 2003; O'Malley, 2007). Además, la digestión de la proteína microbiana de los cecotrofos se ve

favorecida por la adición de lisozima bacteriana en los mismos, a medida que pasan a través del intestino grueso (Camara y Prieur, 1984).

### **2.5.6 Secreción hepática y pancreática**

El páncreas del conejo es pequeño, como se esperaría en un animal con un sistema digestivo constantemente activo y bajas ingestas de proteínas y carbohidratos. Es un órgano difuso y, a menudo, difícil de localizar dentro de la grasa mesentérica ubicada entre el colon, el estómago y el duodeno (Carabaño y Piquer, 1998). La tripsina, la quimotripsina y las carboxipeptidasas se producen en el páncreas y se liberan en la luz intestinal. Estas hidrolizan junto con las aminopeptidasas intestinales para completar la digestión de proteínas. El páncreas es una fuente importante de iones bicarbonato que neutralizan el quimo ácido que ingresa al intestino delgado desde el estómago (Rees Davis y Rees Davis, 2003).

Por otro lado, los conductos hepáticos drenan desde el parénquima hepático hasta la vesícula biliar a través de un conducto biliar común, y de allí al intestino delgado a través de un conducto cístico, que drena sólo distalmente al píloro. En conejos produce alrededor de 100-150 ml/ kg PV/d, independientemente de la estimulación con la secretina —siete veces la tasa de producción en el perro (Jenkins, 2000; Rees Davis y Rees Davis, 2003; Lebas, 2013). Los ácidos biliares, como los ácidos cólico y quenodesoxicólico, se sintetizan en el hígado y se liberan en el intestino delgado, donde una proporción de estos se convierte por actividad microbiana en ácido deoxicólico (Cheeke, 1987). Los ácidos biliares son importantes como detergentes que descomponen el material graso en pequeñas micelas por medio de la emulsificación, permitiendo la absorción de grasas y vitaminas liposolubles en el intestino delgado distal. Los otros componentes funcionales de la bilis son los pigmentos biliares. La biliverdina se produce como producto de la descomposición de la hemoglobina, y en la mayoría de las especies de mamíferos se convierte por la acción de la enzima biliverdina reductasa en bilirrubina, antes de ser secretada en la bilis. La actividad de la biliverdina reductasa es baja en el conejo, 60 veces menor que en la rata, y el 63% del pigmento biliar en conejos se encuentra en biliverdina no convertida (Muñoz *et al.*, 1986; Cheeke, 1987).

### 2.5.7 Intestino grueso: ciego, colon y recto

El ciego de los conejos es proporcionalmente el más grande de todos los mamíferos. Tiene el doble de longitud que la cavidad abdominal y representa del 40-60 % del volumen total del tracto gastrointestinal, tiene 10 veces la capacidad del estómago y alberga el 40 % del contenido intestinal (Crusie y Nathan 1994; Jenkins, 2000; O'Malley, 2007). El ciego es un órgano digestivo importante en el conejo. Allí ocurren los procesos fermentativos del alimento y se clasifican las heces para la cecotrofia. Desde un punto de vista estructural, tiene tres partes o porciones: cuerpo, apéndice y saco redondo o válvula ileocecal. La longitud total del mismo es de 30-50 cm encontrándose dispuesto en forma de espiral y ofreciendo un aspecto abollado. El cuerpo del ciego tiene un tono grisáceo y el apéndice es blanquecino. Posteriormente se encuentra el colon que tiene una longitud de aproximadamente 1.5 m de largo en los animales adultos, presentando abolladuras; tanto en su estructura anatómica como en su contenido. El colon distal es alargado y se caracteriza por presentar un aspecto lineal con ausencia de abolladuras y por tener una mucosa de células cúbicas ricas en glándulas mucígenas. El moco segregado en esta parte posiblemente sea el que recubre a los cecotrofos (Domínguez, 2008; Pérez de Rozas, 2014).

### 2.5.8 Digestión en intestino grueso

Los herbívoros, como el conejo, consumen alimentos muy fibrosos, a pesar de que ellos mismos no producen enzimas que transformen esos compuestos en nutrientes absorbibles (De Blas y Mateos, 1998). Sin embargo, el ciego provee de espacio, bacterias y enzimas que permiten la fermentación de la celulosa hasta ser convertida en carbohidratos aprovechables (Domínguez, 2008). Así mismo, el apéndice del ciego que es rico en tejido linfoide y que participa en el sistema inmunitario, también secreta bicarbonato para compensar la acidez de los ácidos grasos volátiles y agua para formar una pasta cecal semifluida (Harkness y Wagner, 1995).

A diferencia de muchos otros herbívoros, los microorganismos cecales principales en el conejo no son los *Lactobacillus* sino *Bacteroides* spp., protozoos ciliados, levaduras y un pequeño número de *Escherichia coli* y clostridios (Cheeke, 1987; Harkness y Wagner, 1995). Como se ha dicho, poseen una población microbiana con una actividad celulolítica importante que en el caso del conejo se concentran en el ciego, como órgano fermentativo en



esta especie. La presencia de la población microbiana en el ciego, junto con la cecotrofia, le permite al conejo obtener adicionalmente energía, aminoácidos y vitaminas (Carabaño y Piquer, 1998). A partir de esta microbiota, en el ciego se producen los ácidos grasos de cadena corta (AGCC),  $\text{NH}_3$ , después de la fermentación de azúcares y aminoácidos. A diferencia de los rumiantes, los patrones de fermentación son acético (60-80 %), butírico (8-20 %) y propiónico (3-15 %) de acuerdo con Gidenne *et al.* (2000), Carabaño y Piquer (1998) y Rees Davis y Rees Davis (2003).

Además de la ingesta, los mucopolisacáridos secretado por las células caliciformes de la mucosa sirven como una fuente importante de carbohidratos para la fermentación cecal por *Bacteroides* spp. Otros microorganismos encontrados en el ciego son las especies bacterianas que incluyen *Bifidobacterium* spp., *Endophorus* spp., *Streptococcus* spp., y *Acuformis* spp. en la luz, *Clostridium*, *Peptococcus*, *Peptostreptococcus* y *Fusobacterium*, especies adheridas a la membrana mucosa y muchas otras especies anaerobias no identificadas (Rees Davis y Rees Davis, 2003). Por otro lado, Abecia *et al.* (2005) y Monteils *et al.* (2008) mencionan que la mayor parte de especies bacterianas presentes en el microbioma del tracto gastro intestinal del conejo corresponden al filo *Firmicutes* (90 %) y solo el 4 % de las especies a *Bacteroidetes* seguido de *Actinobacteria* y *Proteobacteria*. Dentro del filo *Firmicutes*, predominan las familias *Ruminococcaceae* y *Lachnospiraceae* (Massip *et al.*, 2012).

La flora microbiana combinada del ciego descompone el amoníaco, la urea, las proteínas y las enzimas del intestino delgado y la celulosa (preferencialmente en ese orden). Estos microorganismos también tienen la capacidad de metabolizar el xilano y la pectina (De Blas y Gidenne, 1998). Los productos de este metabolismo son las estructuras de proteínas y enzimas de los propios microorganismos (que luego se digieren como cecotrofos), y los subproductos de la fermentación microbiana denominados colectivamente ácidos grasos volátiles (AGV; ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico). Estos AGV se absorben activamente a través de las paredes cecales y el conejo las utiliza como fuentes de energía, como es el caso de los rumiantes. Los conejos difieren de otros animales en que el nivel de ácido butírico normalmente excede el del ácido propiónico.

Al final del ciego y el colon y como último segmento del intestino grueso se encuentra el recto, el cual no tiene ningún papel significativo en la fisiología digestiva (Pérez de Rozas, 2014).

### **2.5.9 Cecotrofia, cecotrofos y heces duras**

La cecotrofia constituye una de las principales singularidades del sistema digestivo del conejo, y por ello, ha sido objeto de distintos trabajos en relación con los mecanismos fisiológicos implicados y con la cuantificación de su contribución a las necesidades de nutrientes del animal (De Blas *et al.*, 2002). De tal manera que la cecotrofia es descrita como una estrategia digestiva que le permite aprovechar los nutrientes resultantes de la fermentación cecal de partículas fibrosas de tamaño pequeño (Romero, 2008). Esta estrategia sofisticada de los lagomorfos consiste en la producción y excreción de dos tipos de heces: heces blandas o cecotrofos y heces duras, que son totalmente diferentes en tamaño y composición química (Cuadro 2).

Las heces duras son altas en fibra y bajas en proteína, sustancias solubles en agua y vitaminas, mientras que la composición de los cecotrofos es muy similar a la del contenido cecal (Bellier *et al.*, 1995; Romero, 2008). Contrariamente a la coprofagia que se da en animales que solo producen un tipo de heces y que ingieren éstas como respuesta a una alteración nutricional (subcarencias, vicios adquiridos o desarreglos alimenticios), la cecotrofia tiene un papel digestivo cíclico de primer orden parecido al que se da en los rumiantes con la rumia (Romero, 2008).

Las heces blandas se excretan de acuerdo con un ritmo circadiano que es el opuesto al de la ingesta de alimento y la excreción de heces duras. La cecotrofia ocurre principalmente durante el periodo de luz, mientras que la ingesta de alimento y la excreción de heces duras ocurre durante el periodo de oscuridad (Lebas y Laplace, 1974, 1975; Fioramonti y Ruckebush, 1976; Ruckebush y Hörnicke, 1977; Battaglini y Grandi, 1988; Merino, 1994; Bellier *et al.*, 1995; Bellier y Gidenne, 1996; El-Adawy, 1996; Carabaño y Piquer, 1998). Según datos publicados por Carabaño y Merino (1996) la mayoría de los conejos mostraron patrones monofásicos de excreción de heces blandas de 08:00 a 17:00 h, con un pico máximo a las 12:00 h, en conejos adultos en un horario de 12 h de luz/12 h de oscuridad. Sin embargo, 0.25% de ellos mostraron un patrón difásico, con un segundo período de excreción durante

la noche. La aparición de patrones es más frecuente cuando se reduce la duración del período de luz. Bajo condiciones de luz continua (24 h, la cecotrofia corre libremente y en un período monofásico; Jilge, 1982).

Cuadro 2. Porcentaje de componentes en cecotrofos y heces duras.

Elementos	Cecotrofos	Heces duras
Materia seca (%)	21,1	53,3
Proteínas	29,5	13,1
Celulosa	22,0	37,8
Lípidos	2,4	2,6
Minerales	10,8	8,9

(Pérez de Rozas, 2014)

Durante el período de la cecotrofia, que dura de 7 a 9 h, hay una ausencia de excreción de heces duras y el consumo de alimento es bajo. La ingesta de alimento y la excreción de heces duras ocurren a lo largo del período complementario, mostrando dos fases. La ingesta de alimento aumenta de 15:00 a 18:00 h y posteriormente permanece alta hasta las 24:00 h. Después de este período, los conejos reducen la ingesta de alimento hasta las 02:00h y luego comienza una nueva fase, con un máximo hasta las 6:00h. La segunda fase finaliza a las 08:00h. Por lo tanto, la excreción de heces duras (de 18:00 a 08:00h) muestra un patrón con dos máximos a las 24:00 y 6:00 h (Carabaño y Merino, 1996).

Los mecanismos de separación de partículas a nivel del ciego y del colon proximal son básicos para la producción de los dos tipos de heces, ya que solo las partículas más finas de alimento (<0.3 mm) y el contenido digestivo soluble son revertidos hacia el ciego e introducidos en él a través de la válvula íleo-cecal gracias a los movimientos antiperistálticos del colon, mientras que las partículas más gruesas progresan rápidamente por el colon para dar lugar a la formación de las heces duras (Björnhag, 1972; Pickard y Stevens, 1972; Romero, 2008).

En cuanto el contenido de partículas más finas sale del ciego se recubre en el colon proximal de una capa de mucina dando lugar a unos racimos de heces blandas de aproximadamente 5 mm de diámetro (Romero, 2008). Antes de ser liberados al medio, los cecotrofos son ingeridos por el conejo directamente del ano. Se desconoce si el olor

característico de las heces blandas o la posible presencia de mecanorreceptores en el ano es lo que facilita al conejo el reconocimiento de los cecotrofos, que son ingeridos sin masticar y depositados en la región fúndica del estómago durante 3 a 6 horas (Gidenne y Poncet, 1985). Por otro lado, dentro de la composición química de los cecotrofos, estos tienen una alta proporción de proteína (23-33 % en base seca), de la cual alrededor del 50 % es de origen microbiano (Spreadbury, 1978; García *et al.*, 1995).

Por lo tanto, la cecotrofia supone un aporte significativo de proteína para el animal (del orden de un 15 % de sus necesidades totales) y aún mayor de aminoácidos esenciales (especialmente de lisina y treonina; Nicodemus *et al.*, 1999; De Blas *et al.*, 2002). También tiene importancia el reciclado de vitaminas solubles en agua sintetizadas por la microbiota en el ciego del conejo, vitaminas como las del grupo B, vitamina K y minerales (Giannenas, 2013), así como la hidrólisis de parte del ácido fítico para el mantenimiento y la producción normal (Gutiérrez *et al.*, 2000).

## **2.6 Requerimientos nutricionales para crecimiento y producción**

El proceso de peletizado además de reducir la incidencia de enfermedades respiratorias y de compactar de una manera más eficiente el alto contenido de alimentos fibrosos de las dietas para conejos, interfiere en la fisiología digestiva por su estructura física (tamaño de partícula) reduciendo la velocidad de paso cuando las partículas son menores a 0.315 mm (Nicodemus, 2006), con la consecuente acumulación de la digesta en el ciego, reduciendo el consumo de alimento y aumentando la incidencia de patologías digestivas (Gidenne, 1993; García *et al.*, 2002). Por ello, el alimento para conejos además de cubrir sus requerimientos nutricionales (Cuadro 3) debe de cumplir con el tamaño de partícula recomendado para no repercutir significativamente en su rendimiento productivo.

### **2.6.1 Proteínas**

Las proteínas son macromoléculas hechas de cadenas de aminoácidos unidos mediante enlaces peptídicos formando cadenas de polipéptidos. El valor nutritivo de una proteína está determinado no solo por su composición de aminoácidos, sino también por su digestibilidad o proporción de proteína ingerida que se digiere en el intestino y que se absorbe como aminoácidos libres. Los principales factores involucrados en la digestibilidad de la proteína en conejos, como en otras especies no rumiantes son la estructura y las propiedades

químicas (las proteínas insolubles son más resistentes a la digestión) y la accesibilidad a la actividad enzimática (Villamide *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Recomendaciones para la composición de alimentos peletizados con 88% de MS.

Unidad= g/kg de alimento, a menos que se indique lo contrario		En crecimiento		En producción	
		Destete	Finalización	Semi-intensivo	Intensivo
Edad en semanas		3-6	7-11	>19	>19
Energía digestible (ED)	MJ	9.4-9.8	9.8-10.2	10.5-10.7	10.7-10.9
Proteína digestible (PD)	g	110-120	100-115	115-130	125-140
Relación PD/ED	g/MJ	11.6-12.2	9.8-11.3	10.9-12.1	11.7-12.8
Aminoácidos digestibles					
Lisina	g	6.0	5.7	6.4	6.6
Azufrados (met + cist)	g	4.7	4.3	4.6	4.9
Treonina	g	4.4	4.2	4.3	4.7
Fibra					
Lignocelulosa (FDAK)	g	≥190	≥170	160-185	155-180
Ligninas (ADL)	g	≥55	≥50	≥45	≥40
Fibras digestibles	--	<240	<220	<270	<260
Ratio FD/FDA	--	≤1.3	≤1.3	1.3-1.6	1.3-1.5
Minerales					
Calcio	g	8.0	7.0	10.5	12.0
Fósforo	g	4.0	3.0	5.0-6.0	5.5-6.5
Sodio	g	2.0	2.2	2.3	2.3
Oligoelementos					
Cobre	mg/kg	6	6	10	10
Hierro	mg/kg	30	30	50	50
Zinc	mg/kg	35	35	60	60
Vitaminas					
Vitamina A	UI/kg	6000	6000	10000	10000
Vitamina D	UI/kg	900	900	900	900
Vitamina E	UI/kg	40	40	50	50
Vitamina K <sub>3</sub>	mg/kg	1	1	2	2

(Gidenne *et al.*, 2015)

El alimento debe proporcionar un mínimo de 10 de los 21 aminoácidos que constituyen las proteínas, denominados aminoácidos esenciales. Por analogías con las otras especies, en el conejo, consideramos además otros dos aminoácidos que pueden remplazar parcialmente a dos aminoácidos esenciales, lo que nos lleva a la siguiente lista: arginina, histidina, lisina, isoleucina, lisina, fenilalanina + tirosina, metionina + cistina, treonina, triptófano y valina. En las últimas décadas se ha estudiado con precisión las necesidades de arginina, lisina, aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y treonina (Xiccato y Trocino, 2010).

Los aminoácidos azufrados junto con la lisina suelen ser los principales aminoácidos limitantes, seguidos inmediatamente de la treonina; sus valores recomendados son expresados como aminoácidos digeribles tal como se muestra en el Cuadro 3 y 4. Cabe señalar que para los aminoácidos que contienen azufre, solo hay un pequeño margen entre la cobertura de su necesidad y el nivel que resulta contraproducente, expresado en un deterioro excesivo del rendimiento.

Con respecto a la lisina y la arginina, su umbral de toxicidad está lejos del nivel considerado óptimo. Este equilibrio en aminoácidos no siempre se obtiene solo con proteínas de origen vegetal, por lo que requiere la adición de aminoácidos sintéticos. Por lo tanto, para el conejo en crecimiento, si la dieta tiene un buen equilibrio en aminoácidos esenciales, es posible reducir el contenido de proteína digestible a un 10-12 % por kg de materia seca (Gidenne *et al.*, 2015), de la misma manera De Blas y Mateos (1998) y Maertens (1992) reportan datos (10.7 y 10.5-11.0 %, respectivamente) dentro del mismo rango para conejos en crecimiento.

La utilización de unidades digestibles, tanto para la proteína como para los aminoácidos, podría ayudar a reducir en un mayor grado los aportes nitrogenados ya que habría un conocimiento más preciso de la disponibilidad del nitrógeno y, sobre todo, de los aminoácidos de los alimentos. El nivel de proteína digestible del alimento debe estar en equilibrio con la energía digestible (relación PD/ED), ya que, si los niveles energéticos son inferiores, el organismo utilizará la fuente proteica para obtener energía con producción de residuos nitrogenados, mientras que, si la proteína digestible se encuentra por debajo de los

requerimientos, se observará retraso en el crecimiento o disminución de la eficiencia de utilización del alimento (Cossu, 2014).

Cuadro 4. Recomendaciones de proteína y aminoácidos para conejos en crecimiento de acuerdo con diferentes autores (en base seca).

	NRC (1977)	INRA (1984)	De Blas y Mateos (1998)
Energía digestible (MJ/Kg)	10.5	10.5	10.5
Proteína cruda (%)	16.0	16.0	15.3
Proteína digestible (%)	--	--	10.7
Lisina:			
Total (%)	0.65	0.65	0.75
Digestible (%)	--	--	0.59
Aminoácidos azufrados:			
Total (%)	0.60	0.60	0.54
Digestible (%)	--	--	0.41
Treonina:			
Total (%)	0.60	0.55	0.64
Digestible (%)	--	--	0.44
Arginina (%)	0.60	0.90	--
Histidina (%)	0.30	0.35	--
Leucina (%)	1.10	1.05	--
Isoleucina (%)	0.60	0.60	--
Fenilalanina y tirosina (%)	1.10	1.20	--
Triptófano (%)	0.20	0.18	--
Valina (%)	0.70	0.70	--

(Carabaño *et al.*, 2009)

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la cecotrofia también proporciona proteínas, de origen bacteriano y de alta calidad biológica, pero en cantidad limitada. Los cecotrofos contienen aproximadamente el 30 % de las proteínas, de las cuales el 40-60 % son de origen bacteriano y contribuyen del 15-18 % de la proteína total ingerida, de 18-20 % de los aminoácidos azufrados y lisina, y de 20-23 % de la treonina (Gidenne *et al.*, 2015).

## 2.6.2 Carbohidratos

El almidón es una fuente energética muy importante en el alimento del conejo y a partir del mismo se obtienen las calorías necesarias para la actividad, los procesos metabólicos, la generación de calor, la acumulación de reservas, el crecimiento, etc. Las variaciones en la ingestión de almidón están asociadas normalmente a variaciones mayores en la ingestión de fibras (cantidad y tipo de fibra), por este motivo es difícil de limitar los efectos que tiene el almidón por sí mismo sobre la digestión (Cossu, 2014).

En animales adultos, el almidón no degradado que alcanza el ciego es fermentado rápidamente por la microbiota amilolítica. Se ha demostrado que, si las dietas están equilibradas, especialmente en términos de la relación proteína/energía, un nivel de almidón ligeramente superior al recomendado (hasta 21 %), no parece ser responsable de los problemas entéricos (Xiccato *et al.*, 1998).

Por otro lado, se ha demostrado que, en animales jóvenes al no producir suficiente amilasa para digerir el almidón presente en los cereales, entra al ciego el almidón no digerido que será degradado por las bacterias cecales hasta glucosa; la elevación de la glucosa estimula el desarrollo del *Clostridium spiroforme* con la consecuente enterotoxemia (Cheeke y Patton, 1980; Borriello y Carman, 1983).

## 2.6.3 Lípidos

En el alimento, las grasas, denominadas también lípidos (cuantificables a través del extracto etéreo), provienen mayoritariamente de las oleaginosas y los cereales (aceites) y constituyen junto con los almidones y la fibra digestible, la fuente energética (Cossu, 2014). De manera que las recomendaciones energéticas para animales en crecimiento van de 9.4-10.2 MJ/kg de alimento (Gidenne *et al.*, 2015) y de 10.5-10.9 MJ/kg en animales en engorda (NRC, 1977; INRA, 1984; De Blas y Mateos, 1998), tal como se muestra en el Cuadro 3 y 4.

La proporción adecuada de lípidos en el balanceado es de 2-4% según el tipo de alimento, pero suelen considerarse cantidades mayores cuando hay que cubrir algún déficit energético; este aumento no trae consecuencias perjudiciales en los aspectos sanitarios, pero disminuye la dureza del pellet, aumenta el índice de rotura y el polvillo en la tolva, así como la susceptibilidad al enranciamiento (Cossu, 2014). Asimismo, la adición de 4% de grasa



aumenta la digestibilidad de la fibra y reduce la digestibilidad aparente de la materia orgánica y la energía (Falcao e Cunha *et al.*, 1996, 1998; Xiccato, 1998).

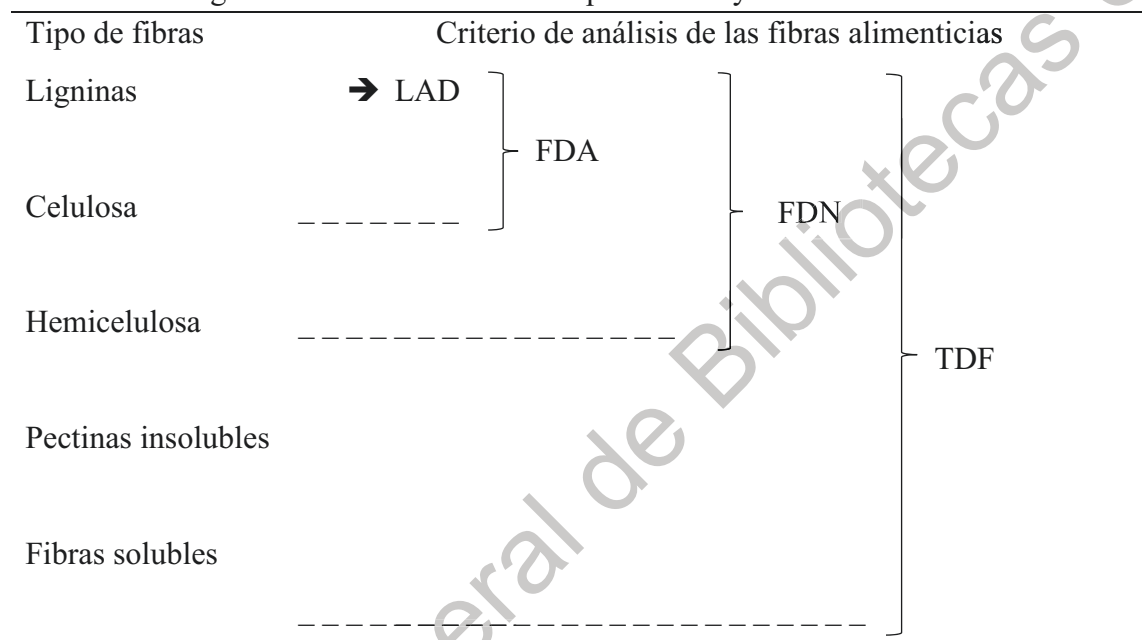
#### 2.6.4 Fibra

El consumo de fibra debe expresarse en términos de cantidad y calidad (tipo) de los componentes de la pared celular (Gidenne *et al.*, 2010), por ello, el concepto de fibra dietética se refiere a un conjunto diverso de moléculas compuestas principalmente de polisacáridos y ligninas de las paredes de las células vegetales. Se clasifican en cinco clases principalmente: ligninas, celulosa, hemicelulosas, pectinas y polisacáridos solubles en agua (Figura 2). La digestión del conejo de las diferentes fracciones fibrosas dependerá de su acceso y facilidad de hidrólisis por las enzimas bacterianas cecales. Por lo tanto, la digestibilidad fecal es del 15-25 % para la celulosa, del 20-40 % para las hemicelulosas, del 70-75 % para las pectinas, y puede superar el 80 % para los polisacáridos solubles. Las ligninas son compuesto fenólicos y su digestión por el conejo es casi nula. En general, la digestión de todas las fibras (fibra dietética total) oscila entre el 40 y 60 %, dependiendo de la elección de las materias primas incorporadas a la dieta (Gidenne *et al.*, 2015). De tal manera que la fibra juega un papel fundamental en el mantenimiento del tránsito digestivo, estimulando la motilidad intestinal, y el equilibrio de la microbiota cecal, favoreciendo el desarrollo de las bacterias productoras de AGV (Cossu, 2014).

A fin de mantener el correcto funcionamiento del tracto digestivo y la homeostasis de la microbiota del conejo, se considera que el aporte adecuado de un mínimo de 30-33 % de fibra detergente neutro (FDN; fibra insoluble; De Blas *et al.*, 1999, 2007; Gidenne *et al.*, 2010; Cossu, 2014), de 37g/kg de lignina ácido detergente (Pérez *et al.*, 1994; Nicodemus *et al.*, 1999) y con un tamaño de partícula mayor a 0.315mm (Nicodemus *et al.*, 2006) en las dietas en conejos en crecimiento son necesarias para acelerar el peristaltismo intestinal, disminuir el tiempo de retención de la digesta, diluir los contenidos de proteína y almidón a nivel ileal y reducir el crecimiento de bacterias patógenas (Gidenne y Pérez, 1994; García *et al.*, 1995, 2000; Blas y Gidenne, 1998). Además, disminuye la mortalidad por engorde con respecto a las dietas con una concentración insuficiente de fibra insoluble (<250-270g/kg de FDN; Gidenne *et al.*, 2004a, b; Nicodemus *et al.*, 2004).

De la misma forma que la FDN, la inclusión de un nivel moderado de fibra soluble (FDA; 150-190g/kg de FDA; Gidenne *et al.*, 2010; Cossu, 2014) como fructanos, galactanos,  $\beta$ -glucanos, pectinas y almidones resistentes, en dietas para animales en engorda, reduce la incidencia de problemas digestivos y la detección de *Clostridium perfringens*, mejorando la respuesta inmune y la eficiencia alimenticia, además de reducir la mortalidad después del destete (Gómez-Conde *et al.*, 2007).

Figura 2. Fibras alimentarias: tipo de fibra y métodos de análisis.



(Modificado de Gidenne *et al.*, 2015)

## 2.7 Sorgo

El sorgo es un gramínea de origen tropical que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales que permiten la seguridad alimentaria (Carrasco *et al.*, 2011). La producción de sorgo para grano en México es de gran importancia debido a su uso como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para animales (Caamal *et al.*, 2016). Además, México fue el cuarto país productor de sorgo a nivel mundial para el año 2016 (Planeación Agrícola Nacional, 2017). Por lo tanto, el sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena (Pacheco, 1998; Wong *et al.*, 2009; Srinivasa y Ganesh, 2013).

### 2.7.1 Composición del sorgo

Las semillas del sorgo miden 3 mm, son esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y amarillento (Planeación Agrícola Nacional, 2017), y están conformadas por tres componentes principales: la capa externa o pericarpio, que constituye alrededor del 8 %, el germen que contiene al embrión con el 10 %, y el endospermo con el 80 % de la semilla de sorgo madura (Carrasco *et al.*, 2011). El endospermo o tejido de almacenamiento se compone mayormente de proteínas y carbohidratos por lo que alrededor del 90 % del almidón y 80 % de la proteína total del grano se localizan en el endospermo (Gómez *et al.*, 2009). La composición del germen es del 28 % de aceite, 19.5% de proteína y 10 % de cenizas (Wall y Blessin, 1969).

El sorgo es el único cereal en el que ciertas variedades son capaces de sintetizar cantidades relativamente altas de taninos condensados, estas sustancias están compuestas por polímeros y son capaces de precipitar proteínas en medio acuoso. Su principal efecto sobre el valor nutritivo es reducir la utilización digestiva de los aminoácidos. Por lo que parecen requerir un suplemento de metionina para ser metabolizados y excretados por la orina (FEDNA, 2016).

La composición química del sorgo es muy variable, sin embargo, el contenido de almidón del grano de sorgo se encuentra alrededor de un 64.8 % incluyendo pequeñas cantidades de monosacáridos libres, sacarosa y oligosacáridos. La fracción fibrosa contiene alrededor de 8 % de FDN y se encuentra muy poco lignificada (0.7 % LAD), y está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosas y pentosas. En términos generales, su composición se basa en un 87 % de materia seca, 1.3 % de cenizas, 8.9-12 % de proteína cruda (Vannalli *et al.*, 2008; FEDNA, 2016) con un coeficiente de digestibilidad del 65 % y valor energético de 3320 kcal/kg de energía digestible para conejos (FEDNA, 2016). La composición porcentual de los aminoácidos se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Aminoácidos presentes en el sorgo.

AA (%)	Lys	Met	Met+Cys	Tre	Trp	Ile	Val	Arg
Sorgo	0.20	0.15	0.32	0.30	0.10	0.35	0.45	0.35

(FEDNA, 2016)

## 2.7.2 Kafirinas

Las proteínas del grano del sorgo se han clasificado según su solubilidad en albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas), prolamina (kafirina; solubles en alcohol) y glutelinas (solubles en soluciones básicas), además de constituir de un 5.7, 7.1, 52.7 y 34.4 % del grano del sorgo, respectivamente (Avellaneda, 1999; Bansal *et al.*, 2008; FEDNA, 2016). Al igual que otras prolaminas, las kafirinas se encuentra en cuerpos proteicos del endospermo y su función es la de proveer al embrión de una fuente de nitrógeno durante su desarrollo (Shewry y Halford, 2002). A su vez, las prolaminas se pueden dividir, dependiendo de su solubilidad, composición de aminoácidos y sus propiedades electroforéticas, clasificándose en  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  (Cuadro 6). En términos porcentuales, las kafirinas  $\alpha$  representan de un 66-84 %, las kafirinas  $\beta$  8-13 %, las kafirinas  $\gamma$  9-21 % del total de prolaminas (Chamba *et al.*, 2005; Wong *et al.*, 2009; De Mesa-Stonestreet *et al.*, 2010), por último, las kafirinas  $\delta$  se encuentran en bajos niveles y no han sido caracterizadas a nivel de proteína (De Mesa-Stonestreet *et al.*, 2010; Pontieri *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Clasificación y peso molecular de las kafirinas.

Autor	Kafirinas $\alpha$ (kDa)	Kafirinas $\beta$ (kDa)	Kafirinas $\gamma$ (kDa)	Kafirinas $\delta$ (kDa)
Mazhar y Chandrashekar, 1995	24-28 y 22	19	27	-
Hamaker <i>et al.</i> (1995); Oria <i>et al.</i> (1995); Duodu <i>et al.</i> (2002)	23 y 25	16, 18, 20	28	-
Chandrashekar y Mazhar, 1999	23 y 25	19	27	-
Emmambux y Taylor (2003); Nunes <i>et al.</i> (2005)	23 y 25	20	28	-
Belton <i>et al.</i> , 2006	26-27	18.74	20.2	12.9
Bansal <i>et al.</i> , 2008	25 y 25	20	28	-
Wong <i>et al.</i> , 2009	23 y 25	20	28	-
De Mesa-Stonestreet <i>et al.</i> , 2010	23 y 25	18	20	13

(Gómez-Soto, 2017)

Considerando que el concepto de alimentación animal representa hasta el 70% del costo de producción total (Núñez-Torrez, 2017), es necesario trabajar continuamente en la

optimización de las materias primas disponibles para formular las dietas de los conejos y reducir los gastos de producción, satisfaciendo la demanda de carne a causa del crecimiento exponencial de la población mundial. Por otro lado, el uso de cereales en la alimentación animal representa un aporte energético y proteico importante para su nutrición. Sin embargo, algunos granos como el del maíz tienen restricciones en el mercado a causa de su disponibilidad y de que representa el grano base de la dieta de la población mexicana (FIRCO, 2017), por lo que se han empleado distintos cereales para la producción animal dentro de los que se incluye el sorgo, del cual destaca su elevada producción y su resistencia a la sequía (Gómez-Soto *et al.*, 2018), además de la ya mencionada composición química similar a la del maíz. A pesar de ello, no hay suficiente investigación sobre su efecto en la alimentación de los conejos en México. Además, los conejos al realizar la cecotrofia pueden aprovechar de mejor manera, a diferencia de otros monogástricos, los nutrientes resultantes de la fermentación cecal, por lo que es interesante evaluar qué sucede con las kafrinas presentes en el sorgo a causa de su participación en la disminución en la digestibilidad, afectada por varios factores exógenos y endógenos (De Blas *et al.*, 2002; Duodu *et al.*, 2003; Romero, 2008; Wong *et al.*, 2009). Cabe destacar que la cunicultura en las diferentes áreas de investigación para la producción de carne de conejo en países europeos se encuentra altamente fortalecida. Sin embargo, se tiene que considerar que los conocimientos adquiridos en las condiciones de cría en Europa no son del todo aplicables para el desarrollo de la cría en los países en vías de desarrollo (Lebas *et al.*, 1996). A su vez, en la cunicultura mexicana hay muy poca investigación para el mejoramiento de la nutrición partiendo de los recursos locales y de la mejora genética del conejo (García *et al.*, 1998), por lo que representa un área de oportunidad para la generación de conocimientos de una especie pecuaria con un gran potencial para salvaguardar la seguridad alimentaria de nuestro país. En pocas palabras, el presente trabajo busca aportar conocimientos científicos en el área de nutrición animal de la cunicultura en México.

### **III. HIPÓTESIS**

El consumo de dietas elaboradas con sorgo o maíz y diferentes niveles de FDN puede afectar positiva o negativamente la GDP, el PV y el rendimiento en canal, así como el pH del contenido de los órganos digestivos en conejos en engorda. Además, el proceso de cecotrofia permite disminuir la presencia de kafirinas en las dietas elaboradas con sorgo en las heces duras respecto a las heces blandas.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo y algunas variables morfofisiológicas gastrointestinales en conejos en engorda alimentados con sorgo y tres niveles de FDN (28, 33 y 38 %) o maíz (con 33% de FDN), así como la presencia de kafirinas en heces blandas y duras en los conejos alimentados con las dietas elaboradas con sorgo.

### 4.2 Objetivos particulares

Determinar la GDP y el PV semanal durante la engorda en conejos alimentados con las 4 dietas experimentales.

Evaluar el peso y rendimiento de la canal caliente y fría al finalizar la engorda de los conejos alimentados con las 4 dietas experimentales, así como el peso relativo del estómago, duodeno, yeyuno-íleon, hígado, ciego, colon-recto y vesícula biliar.

Determinar el pH del contenido de estómago, yeyuno-íleon, ciego y colon-recto, así como el pH de la canal caliente y fría a nivel del músculo *biceps brachii*, *longissimus dorsi* y *biceps femoris* al finalizar la engorda.

Evaluar la composición química de las heces blandas y heces duras en conejos alimentados con las 4 dietas experimentales en la semana 6 de engorda.

Evaluar la presencia de kafirinas en heces blandas y heces duras en los conejos alimentados con las dietas elaboradas con sorgo en la semana 6 de engorda mediante *Western blot*.

## V. METODOLOGÍA

El protocolo del trabajo de investigación se sometió al Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales. Fue aprobado con el registro 37FCN2018, respetando en todo momento los lineamientos de la *International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals* (CIOMS, 1985), así como de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (Diario Oficial de la Federación, 2001) y la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres (Diario Oficial de la Federación, 2015).

### 5.1 Animales y alojamiento

Se sincronizaron 20 conejas de la raza Nueva Zelanda aplicando una inyección intramuscular de 25 UI de gonadotropina coriónica equina 48 horas previas a la monta natural (Rebollar *et al.*, 2006). Para llevar a cabo las montas naturales se emplearon 5 sementales de la raza Nueva Zelanda, cada uno de los cuáles montó a 2 conejas en el día 1 de montas y al día siguiente a otras 2. Una vez que las conejas parieron, se homologaron las camadas, asignando a cada coneja un número igual de gazapos (8/hembra), los cuales estuvieron en lactancia durante 30 días. A los 27 días de edad los conejos se tatuaron según la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 (Diario Oficial de la Federación, 2001), asignando un número de identificación único a cada gazapo en la oreja, empleando una tatuadora manual y tinta negra. El experimento inició con los gazapos el día que se realizó el destete, con 30 días de edad y un peso promedio de  $647 \pm 110$  g. Al momento del destete los gazapos se pesaron y se asignaron aleatoriamente a las unidades experimentales.

El experimento con los animales se realizó en el módulo de conejos del Área Cunicola de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (ARCUN-UAQ), que se encuentra dentro de la posta zootécnica de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia ubicada en Amazcala, municipio de El Marqués, Querétaro, México, a una distancia de 26 km de la capital del estado de Querétaro, con coordenadas  $20^{\circ} 42' 41.23''$  N y  $100^{\circ} 15' 28.21''$  y una elevación de 1930 msnm. Presenta un clima seco templado (BSkw) con una precipitación media anual de 450 mm (Gómez, 2013).



Las instalaciones del módulo de conejos del ARCUN-UAQ cuentan con ventilación natural que es controlada mediante cortinas, existe luz natural y luz artificial a través de lámparas. Cuenta con jaulas tipo americanas de acero galvanizado destinadas para la engorda que se encuentran a 1 m del nivel del suelo, lo que permite controlar la humedad a nivel del piso de la jaula. Las dimensiones de las jaulas de engorda donde se encontraron cada una de las unidades experimentales son: 0.88 x 0.6 x 0.4 m (largo x ancho x alto), lo que representa un área de piso de 0.264 m<sup>2</sup> por conejo (2 conejos/jaula), cubriendo las recomendaciones de espacio para alojar a esta especie (Aubret y Duperray, 1992; Morisse y Maurice, 1997; Xiccato *et al.*, 1999). Las jaulas contaban con agua proporcionada a través de bebederos de chupón. El agua que llega a las jaulas está purificada por un sistema de filtros y luz UV. Los conejos tuvieron libre acceso al agua de bebida. Cada jaula contaba con un comedero tipo tolvilla de acero galvanizado. De igual forma los conejos tuvieron libre acceso a las dietas o tratamientos experimentales.

## **5.2 Análisis químico de la materia prima para elaborar las dietas experimentales**

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se efectuó el análisis químico del grano del sorgo, el maíz, la pasta de soya, canola, la alfalfa henificada y el rastrojo de maíz, los cuales fueron los ingredientes base requeridos para elaborar las dietas experimentales. Los análisis químicos que se realizaron en la materia prima son: materia seca, proteína cruda, cenizas y extracto etéreo de acuerdo con los métodos 925.45, 976.05, 923.03 y 920.35 del AOAC (2002), respectivamente; energía bruta mediante calorimetría (Bateman, 1970) y fibra detergente neutro y ácido (Van Soest *et al.*, 1991).

## **5.3 Dietas experimentales**

Se elaboraron y peletizaron cuatro dietas experimentales (Cuadro 7) isoproteicas, con un nivel de 16% de proteína cruda (Carabaño *et al.*, 2000) e isoenergéticas conteniendo 10.5 MJ/kg de energía metabolizable (NRC, 1977): dieta a base de maíz y nivel recomendado de fibra detergente neutro (33% según De Blas *et al.*, 1999), dieta a base de sorgo y un nivel bajo de fibra detergente neutro (28 % FDN), dieta a base de sorgo y el nivel recomendado de fibra detergente neutro (33 % FDN) y, dieta a base de sorgo y un nivel alto de fibra detergente neutro (38 % FDN). Las dietas experimentales una vez elaboradas se analizaron

químicamente empleando las metodologías descritas en el apartado 5.2 Análisis químico de la materia prima para elaborar las dietas experimentales.

Cuadro 7. Ingredientes y composición química de los tratamientos experimentales (% Materia Seca).

Dietas	D1	D2	D3	D4
<b>Ingredientes (%)</b>				
Maíz	17.0	---	---	---
Sorgo	-	18.5	19.0	18.4
Harina de alfalfa	19.8	21.0	24.9	6.7
Rastrojo de maíz	20.1	20.6	12.8	32.8
Pasta de soya	13.8	14.7	20.4	2.7
Pasta de canola	20.7	19.6	13.2	32.9
Melaza	7.0	5.0	7.0	5.0
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5
Vitaminas 059	0.2	0.2	0.2	0.2
Minerales 060	0.1	0.1	0.1	0.1
Fosfato bicálcico	---	---	2.0	---
Carbonato de calcio	---	---	---	0.7
<b>Composición química (%)</b>				
Energía digestible MJ/kg MS	11.7	11.7	11.7	11.7
Energía metabolizable MJ/kg MS	10.4	10.5	10.2	10.8
Fibra detergente neutro (FDN)	33.0	33.0	28.0	38.0
Proteína cruda (PC)	16.0	16.0	16.0	16.0
Lisina	0.1	0.1	1.0	0.8
Treonina	0.7	0.7	0.8	0.7
Arginina	1.1	1.1	1.1	0.9
Calcio	0.7	0.7	1.2	0.7
Fósforo total	0.4	0.4	0.8	0.5
Sodio	0.2	0.2	0.2	0.2

<sup>1</sup>Cada kg de producto contiene: vitamina A 10.20 unidades internacionales (UI), vitamina D 1.98 UI, vitamina E 0.06 UI, vitamina K 1.20 mg, riboflavina (B2) 7.20 mg, vitamina B12 (cianocobalamina) 0.04 mg, colina 968.58 mg, niacina 36 mg, ácido pantoténico 16.55 mg, tiamina (B1) 0.30 mg, piridoxina (B6) 0.31 mg, biotina 0.08 mg, ácido fólico 0.75 mg.<sup>2</sup>Cada kg de producto contiene: sulfuro 0.02 %, cobalto 0.72 mg, cobre 14.4 mg, hierro 120 mg, manganeso 36 mg, selenio 0.30 mg, yodo 0.96 mg, zinc 144 mg, cloro 0.03%.

#### 5.4 Prueba de comportamiento productivo

Los gazapos recién destetados se distribuyeron de forma aleatoria a las 4 dietas experimentales. Se formaron 32 unidades experimentales (8 por cada tratamiento) que estuvieron cada uno en una jaula de engorda. Cada unidad experimental se conformó por 2 gazapos. En total se emplearon para la prueba de comportamiento 64 conejos.

Se desarrolló la prueba de comportamiento durante la etapa de engorda (gazapos de 30 días de edad recién destetados engordados hasta la edad de matanza de 72 días) alimentados con las 4 dietas experimentales.

Se pesaron los conejos semanalmente para calcular la ganancia diaria de peso por semana (g/d por semana).

Diariamente se pesó el alimento ofrecido (g) y semanalmente el alimento rechazado (g), para poder calcular el consumo diario de alimento por semana (CDA; g/d/semana).

Semanalmente también se calculó la eficiencia alimenticia (EA; g de peso vivo ganado/g alimento consumido).

### **5.5 Determinación del peso de los órganos gastrointestinales, pH del contenido digestivo, así como del peso de la canal caliente y fría, y el rendimiento en canal**

Al día 41 experimental por la noche, el alimento de los comederos se les retiró, con la intención de guardar el ayuno mínimo requerido según la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (Diario Oficial de la Federación, 2015). Al día 42 del periodo de engorda, los animales fueron trasladados en jaulas y carretillas al área de matanza del ARCUN-UAQ. Los animales fueron matados siguiendo el siguiente protocolo: para el aturdimiento, se tomaron a los conejos de los miembros locomotores pélvicos y con la mano libre se sujetó del área del cuello y desarticulando la articulación atlanto-occipital. Una vez inconsciente el conejo, se colocó en ganchos de acero inoxidable sujetándolos de los miembros locomotores pélvicos a nivel del corvejón y boca abajo (Jandete *et al.*, 2013), y se mataron por desangrado siguiendo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (Diario Oficial de la Federación, 2015), por lo que se cortaron las venas yugulares y las arterias carótidas.

Siguiendo la metodología descrita por Jandete *et al.* (2013), el animal se desolló (retirado de la piel), y al momento de realizar la evisceración verde, los órganos gastrointestinales se colocaron en charolas de aluminio. Se diseccionó el estómago, el intestino delgado, el intestino grueso y se obtuvo el hígado. Se colectó el contenido del estómago y se midió el pH, se lavó el órgano vacío y se pesó (g). Se obtuvo el intestino delgado, se colectó el contenido digestivo y se midió el pH de dicho contenido. Se lavó y se

pesó (g) el duodeno y el yeyuno-íleon. Se diseccionó el ciego, se colectó su contenido al cual se le midió el pH y una vez vacío el órgano se pesó (g). De la misma forma el colon y recto se obtuvieron, se colectó su contenido, se le midió el pH, se lavaron estas porciones y se pesaron (g). El hígado y la vesícula biliar se pesaron (g) por separado. El peso de los órganos gastrointestinales se expresa en peso relativo (peso del órgano/peso vivo del animal el día de la matanza). Una vez finalizada la evisceración roja, se cortaron los miembros locomotores y la cabeza y se procedió a lavar la canal. La canal lavada se secó con trapos limpios y se pesó (peso de la canal caliente, g) posteriormente se guardó en refrigeración a 4° C durante 24 h. Pasadas las 24 h de refrigeración, las canales nuevamente se secaron con un trapo limpio y se volvieron a pesar (peso de la canal fría, g). Por último, se determinó el rendimiento en canal fría ((peso de la canal fría\*100) /peso vivo).

Los desechos corporales obtenidos se manejaron conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002 Protección ambiental-Salud ambiental- Residuos peligrosos biológico-infecciosos-Clasificación y especificaciones de manejo (Diario Oficial de la Federación, 2003), por lo que se embolsaron en bolsas amarillas de polietileno, se congelaron en el Laboratorio de Patología Veterinaria de la Universidad Autónoma de Querétaro para posteriormente ser entregados a la empresa de recolección y transporte externo con la que cuenta la Facultad de Ciencias Naturales para su tratamiento y disposición final.

## **5.6 Evaluación de la composición química de heces blandas y duras a diferentes edades**

A la par de la prueba de comportamiento productivo, otros 24 conejos fueron empleados, dos por unidad experimental, los cuales fueron asignados a cada una de las 4 dietas experimentales elaboradas con sorgo o maíz. A la semana 6 (día 41 de engorda) se colectaron las heces duras de estos animales, siguiendo la metodología de Betancourt *et al.* (2017), el día de colecta de las heces duras se les colocó un collar isabelino de diferentes diámetros (según el tamaño del conejo) en el cuello, con la intención de evitar la cecotrofia y poder colectar las heces blandas al siguiente (día 42 de engorda). Para colectar las heces duras y blandas se colocó en la parte inferior de las jaulas malla mosquitera. Las heces blandas y duras colectadas se conservaron a -80° C hasta la determinación de la composición

química. La composición química de las heces blandas y duras se realizó siguiendo las metodologías descritas en el apartado 5.2 Análisis químico de la materia prima para elaborar las dietas experimentales.

### **5.7 Detección de las fracciones de kafirinas del sorgo en heces blandas y duras**

Las heces blandas y las heces duras colectadas fueron liofilizadas. Las heces liofilizadas y una muestra de sorgo se molieron a través de una criba de 1 mm empleando un molino Thomas-Wiley®. Se les determinó el contenido de proteína cruda de acuerdo con el método 976.05 del AOAC (2002) y las heces de los conejos alimentados con sorgo se corrieron en geles de poliacrilamida al 12%, siguiendo la metodología descrita por Laemmli (1970), colocando 50 µg de proteína cruda de las heces blandas y heces duras, así como 25 µg del sorgo molido para los geles de electroforesis y 12.5 µg de sorgo para los geles utilizados para *Western blot*.

Para realizar el *Western blot* se extrajeron las kafirinas como lo describe Hamaker *et al.* (1995) y se produjeron anticuerpos policlonales como lo recomienda Stills (2012) contra las kafirinas del sorgo (Gómez-Soto *et al.*, 2018).

Una vez corridos los geles de electroforesis con las muestras de las heces blandas y heces duras de los animales alimentados con sorgo, se realizó la transferencia a papeles de nitrocelulosa y se bloquearon dichos papeles siguiendo la metodología de Le Gall *et al.* (2005). La dilución que se empleó de los anticuerpos antikafirinas (primer anticuerpo) para realizar el *Western blot* se determinó mediante *Dot blot* (Hawkes *et al.*, 1982) que fue de 1:600. Para la revelación final se incubaron los papeles de nitrocelulosa, ya con la transferencia de las proteínas, usando un anticuerpo anti-conejo IgG producido en burro (A120-208P, Bethyl Lab.) y se revelaron con el kit de sustrato para peroxidasa Vector NovaRED (SK-4800, Vector Lab.).

Los *Western blot* revelados se digitalizaron empleando un fotodocumentador (Universal Hood II, BioRad).

## 5.8 Análisis estadístico

Las variables semanales evaluadas se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado y un arreglo factorial de medidas repetidas en el tiempo. Las variables obtenidas al finalizar el experimento como lo son el peso y rendimiento de las canales, el peso relativo de los órganos gastrointestinales, la longitud intestinal y el pH de los contenidos gastrointestinales, se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado. Se compararon las medias mediante la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980). Las diferencias estadísticas se consideraron con una significancia de  $P < 0,05$ . El paquete estadístico empleado fue el SAS (2008).

Dirección General de Bibliotecas UIQ

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio del peso al destete (día 30) de los conejos fue de  $647 \pm 110$  g. El promedio del peso (W) final durante cada una de las 6 semanas de engorda se observa en el Cuadro 8. La GDP semanal fue disminuyendo conforme los conejos crecían. La GDP mayor se registró en la semana 1 con 40 g/d datos ligeramente por encima de lo reportado por Eberhart (1980) con una GDP de 37.4 g/d según el comportamiento normal de alimentación de los conejos en crecimiento a una temperatura ideal de 18 °C con una humedad relativa del 70 %. De la misma manera, Gidenne *et al.* (2004) reporta datos similares con una GDP de 38.8-39.3 g/d en conejos en crecimiento entre 31-40 d de edad alimentados en base a un programa de alimentación con dietas altas en energía y en proteína. Además, Capra *et al.* (2013) registró una GDP de 32.9-34.7 g/d en conejos en crecimiento alimentados en base a una estrategia alimenticia que evaluó el efecto de la inclusión y la exclusión de la alfalfa. Sin embargo, Gidenne y Lebas (2005) mencionan que el promedio de la GDP para conejos en un periodo de 5-7 semanas de edad oscila entre 45-50 g/d, datos muy por encima a los obtenidos en el presente trabajo, aunque es importante resaltar que la genética y la nutrición animal que manejan en países europeos se encuentra más desarrollada que en nuestro país.

La GDP no aumentó de manera creciente conforme los conejos fueron creciendo a lo largo de las 6 semanas de engorda tal como se esperaría que sucediera de la misma manera que en las demás especies pecuarias en la etapa de engorda, de modo que en la semana 4 fueron disminuyendo los valores hasta llegar a la GDP más baja en la semana 6 al finalizar el periodo de engorda con 25 g/d en promedio. Sin embargo, Muriu *et al.* (2001) reportaron datos similares a la GDP de 17.4-23.4 g/d en conejos en engorda alimentados con dietas a base de sorgo y maíz, y Abubakar *et al.* (2006) reportaron GDP de 22.3-25.7 g/d en conejos de 8 semanas de edad alimentados con maíz, sorgo y germinado de sorgo, obteniendo datos similares a los obtenidos en el Cuadro 8. Por otra parte, Gidenne y Lebas (2005) ponen en evidencia el hecho de la disminución en la GDP conforme van aumentando las semanas de edad, reportando una GDP de 50-45 g/d en las primeras 5 a 7 semanas de edad hasta disminuir a 45-35 g/d a las 7 a 10 semanas de edad, en conejos alimentados con una dieta balanceada y pelletizada con 89 % de MS y agua potable a libre acceso.

Las GDP de la semana 2, 3 y 5 de engorda con 31, 35 y 31 g/d, respectivamente, se mantuvieron relativamente estables y similares a los datos reportados por Lebas *et al.* (2012) con un rango promedio de 31.4-36.3 g/d de GDP en conejos en crecimiento con 31-79 d de edad y alimentados con dos fuentes diferentes de fibra, alfalfa y paja de trigo. Sin embargo, algunos autores han reportado GDP con rangos muy altos (destacando en las primeras semanas de engorda) a los obtenidos en el Cuadro 8 y estos oscilan entre 42.7-45.8 g/d en conejos alimentados con dietas con distintos tamaños de partícula (Carabaño *et al.*, 1997), entre los 42.9-45.9 g/d en conejos con 49-70 d de edad alimentados con dietas altas en energía y en proteína (Gidenne *et al.*, 2004), entre 43.4-46.1 g/d en conejos con 60-90 d de edad alimentados con dietas con extracto de *Lippia citriodora* (Palazzo *et al.*, 2015), entre 44.6-44.9 g/d en conejos de 28-63 d de edad alimentados con mazorcas y granos de maíz (Martínez *et al.*, 2008), entre 45-50 g/d en conejos con 5-7 semanas de edad alimentados con una dieta balanceada con el 89 % de MS (Gidenne y Lebas, 2005) y entre 46.5-50.7 g/d en conejos con 35-49 d de edad alimentados con una suplementación de celulosa a diferentes niveles de inclusión en la dieta (Eiben *et al.*, 2004).

Cuadro 8. GDP semana y por dieta (D).

	GDP semanal	Peso final
<b>Semana</b>		
1	40 <sup>a</sup>	947 <sup>f</sup>
2	31 <sup>c</sup>	1124 <sup>e</sup>
3	35 <sup>b</sup>	1365 <sup>d</sup>
4	23 <sup>d</sup>	1505 <sup>c</sup>
5	31 <sup>c</sup>	1691 <sup>b</sup>
6	21 <sup>d</sup>	1858 <sup>a</sup>
<b>D</b>		
1	32 <sup>ab</sup>	1807 <sup>ab</sup>
2	34 <sup>a</sup>	1999 <sup>a</sup>
3	30 <sup>b</sup>	1883 <sup>a</sup>
4	25 <sup>c</sup>	1644 <sup>b</sup>
<b>P</b>		
Semana	<0.0001	<0.0001
T	<0.0001	<0.0001
Semana*T	0.0275	0.9062
<b>EEM</b>		
	0.63	11.55

a-f Letras diferentes en la misma columna para el mismo parámetro indican diferencias estadísticas.



La mayor GDP la obtuvieron los animales que consumieron la D4 a base de sorgo y con un nivel bajo de FDN (28 %), con un promedio de 34 g/d, valores por encima de los reportados por Muriu *et al.* (2001) con un promedio de 17-22 g/d en conejos alimentados con sorgo común (*Sorghum bicolor*) y sorgo blanco, respectivamente. De la misma manera, Abubakar *et al.* (2006) reportaron una GDP promedio de 22.3-25.7 g/d en conejos alimentados con dietas a base de sorgo común y malta de sorgo, respectivamente. Según los resultados obtenidos en el presente trabajo, el empleo de la D1, D2 y D3 con un nivel bajo y recomendado de FDN (28 y 33 %) a base de sorgo o maíz les permiten obtener las mayores GDP en comparación con la D4 con un nivel por encima al recomendado de FDN (38 %).

Los conejos que consumieron la D1 y D2 obtuvieron la mayor GDP, sin embargo, la GDP de la D3 a base de sorgo y con un nivel recomendado de FDN (33 %) fue menor a la GDP de la D2 a base de sorgo y con un nivel bajo de FDN (28 %) pero similar a la GDP de la D1 a base de maíz y un nivel recomendado de FDN (33 %), obteniendo GDP similares si la dieta es a base de sorgo o a base de maíz siempre y cuando se incluya el nivel recomendado de FDN. Las GDP para la D1, D2 y D3 son similares a los datos reportados por Lebas *et al.* (2012) con un rango que oscila entre 31.4-36.3 g/d en conejos en crecimiento entre 31-79 d de edad y alimentados con dos fuentes diferentes de fibra; alfalfa y paja de trigo.

Es importante mencionar que la D2 con un nivel bajo al recomendado de FDN (28 %) obtuvo las GDP más altas con respecto a las demás dietas utilizadas en el presente trabajo, sin embargo, este acontecimiento se contrapone a la literatura, ya que menciona que las necesidades de fibra surgen particularmente durante el periodo posterior al destete y que la baja ingesta del mínimo recomendado de fibra implica una tasa de crecimiento más baja durante las dos primeras semanas del periodo de engorda (Gidenne y Jehl, 1999; Pinheiro and Gidenne, 1999) asociado con una mayor incidencia de problemas en el consumo de alimento y con el aumento en las patologías digestivas (Bennegadi *et al.*, 2001).

La D4 a base de sorgo y con un nivel elevado de FDN (38 %) fue diferente a la D1, D2 y D3 al obtener la menor GDP con un promedio de 25 g/d (Cuadro 8) evidenciando que un elevado porcentaje al recomendado de FDN afecta negativamente la GDP (De Blas y Mateos, 1997; Carabaño *et al.*, 1997; De Blas *et al.*, 2002; Gutiérrez *et al.*, 2002; Nicodemus *et al.*, 2004; Carabaño *et al.*, 2005; Gidenne *et al.*, 2015), aumentando el consumo voluntario

de alimento y reduciendo la conversión alimenticia ante la necesidad de satisfacer las demandas energéticas por una dilución de la energía en la dieta debido al alto contenido de fibra. Por lo tanto, el animal no puede aumentar su ingesta lo suficiente como para satisfacer sus necesidades energéticas, lo que conduce a una tasa de crecimiento baja, pero sin problemas digestivos (Bellier y Gidenne, 1996; Gidenne y Lebas, 2002; Gidenne *et al.*, 2015). De esta manera la GDP de la D4 se vio afectada negativamente durante el periodo de engorda por la elevada inclusión de FDN, tal como como se esperaba.

A pesar de que la D4 obtuvo la menor GDP con respecto a la D1, D2 y D3, el valor promedio de 25 g/d es similar a la GDP en experimentos realizados por Abubakar *et al.* (22-25 g/d; 2006) y Muriu *et al.* (17-22 g/d; 2001) en los que evaluaron el comportamiento productivo y otras variables con distintas dietas balanceadas en las que incluían el sorgo común (*Sorghum bicolor*), el sorgo blanco y la malta de sorgo.

En la semana 1, 3 y 6 (Cuadro 9) los conejos que se alimentaron con las dietas a base de sorgo, obtuvieron la mayor GDP los conejos que consumieron la D2 con un nivel bajo de FDN (28 %) y los que consumieron la D4 con elevado porcentaje de FDN (38 %) presentaron la menor GDP observándose el decrecimiento en esta variable con excepción de la semana 5 en la que se obtuvo una GDP de 31 g/d, similar a la semana 1 y que por su alta tasa de crecimiento se esperaría que la GDP fuera más baja por la alta demanda de nutrientes, especialmente de energía y proteína, sin embargo, su dilución en la dieta se debe al elevado porcentaje de inclusión de FDN (Newkirk, 2009; Pietsch, 2014).

Cuadro 9. Interacción semana\*D para la GDP semanal

Dieta	Semana					
	1	2	3	4	5	6
D1	51 <sup>a</sup>	34	35 <sup>ab</sup>	23	29	21 <sup>ab</sup>
D2	42 <sup>b</sup>	34	42 <sup>a</sup>	21	34	30 <sup>a</sup>
D3	37 <sup>bc</sup>	27	38 <sup>ab</sup>	26	28	21 <sup>ab</sup>
D4	32 <sup>c</sup>	27	25 <sup>bc</sup>	22	31	13 <sup>b</sup>

a-c Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas

Los resultados anteriores sugieren que un exceso de fibra en la dieta de los conejos de engorda afecta negativamente la GDP y el peso vivo final. Costa (1992) y De Blas *et al.* (2002) señalan que un exceso de fibra en la alimentación de los conejos genera patologías

digestivas: daño al lumen de los intestinos, dificultad en la digestibilidad, aprovechamiento de los nutrientes y modificación de la microbiota intestinal, repercutiendo en el crecimiento y aumentando el índice de conversión alimenticia (García *et al.*, 1993; Nicodemus *et al.*, 1999; García *et al.*, 2002; De Blas *et al.*, 2002; García *et al.*, 2006; Marguenda *et al.*, 2006).

En general, al finalizar la etapa de engorda, los animales alimentados con la D1, D2 y D3 no presentaron diferencia significativa en la GDP. Una dieta a base de sorgo con 28 o 33 % de FND obtiene el mismo PV final que una dieta a base de maíz con 33 % de FDN. Los resultados obtenidos por Muriu *et al.* (2001) indicaron que el sorgo blanco y el maíz no eran significativamente diferentes, por lo tanto, el sorgo es capaz de sustituir eficazmente al maíz en dietas para conejos en desarrollo, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Los conejos que consumieron la D4 a base de sorgo con un nivel elevado de FDN (38 %), presentaron un menor PV al finalizar la engorda, que aquellos que consumieron la D2 y la D3 con un nivel bajo y recomendado de 28 y 33% de FDN, respectivamente. Los resultados del PV al finalizar la engorda son similares comparándolos con los datos reportados por Chamorro *et al.* (2005) con 1970-2055 g en conejos con 56 d de edad, Fabre *et al.* (2006) con 1810-2040 g en conejos con 58-68 d de edad, Palma y Hurtado (2010) con 1652-2083 g en conejos con 93 días de edad, Caro y Dihigo (2012) con 1840-1890 g en conejos con 95 d de edad, Palazzo *et al.* (2015) con 1860-1970 g en conejos con 60 d de edad, Mehrez *et al.* (2015) con 1859-2060 g en conejos con 83 d de edad y Abu *et al.* (2016) con 1615-2176 g en conejos con 95 d de edad. Sin embargo, los pesos fueron menores a los resultados publicados en trabajos realizados por Falcao-e-Cunha *et al.* (2004) en conejos que alcanzaron pesos de 2201-2495 g con 70 d de edad, Larzul *et al.* (2004) con pesos de 2363-2880 g en conejos con 63 d de edad, Capra *et al.* (2013) con pesos de 2509-2511 g en conejos con 90 d de edad, Lebas (2007), Coutelet *et al.* (2015) y Gidenne y Maertens (2016) con pesos de 2400-2500 g al finalizar la engorda según los parámetros registrados en granjas cunícolas en Francia entre el año de 1999 al 2014. De la misma manera, Lebas *et al.* (1996) reportan que los pesos recomendados para las estirpes de tipo neozelandesa blanca que van de los 2300-2500 g con 70-90 d de edad. González y Caravaca (2007) mencionan que las razas ligeras utilizadas en España (principalmente de raza Nueva Zelanda blanca) alcanzan

un peso de 2000-2200 g con aproximadamente 62 d de edad por lo que recomienda no prolongar el periodo de engorda más allá de esta edad debido a que empeora el índice de conversión alimenticia y se obtienen canales más grasas. Además, los resultados antes mencionados por la literatura citada en cuanto a los mayores pesos registrados en países europeos difieren a los publicados por Simitzis *et al.* (2014) en un experimento en el que se lograron pesos por encima de los promedios registrados con 3360-3550 g en conejos con 80 d de edad de raza híbrida conocida como Hyla hybrid caracterizada por una alta tasa de crecimiento y mayor calidad de la carne (Vostrý *et al.*, 2011) y Palazzo *et al.* (2015) con pesos de 3160-3260 g en conejos en engorda de raza neozelandesa blanca con 90 d de edad. Sin embargo, es conveniente enfatizar que los avances tecnológicos, el material genético y los estudios en nutrición animal con los que cuentan los países europeos en el área de cunicultura se encuentran altamente desarrollados por lo que es de esperarse que obtengan parámetros productivos más altos a los obtenidos en el presente trabajo.

Los conejos que consumieron la dieta a base de sorgo y un nivel bajo de FDN (28 %) obtuvieron un mayor peso de la canal caliente comparado con los que consumieron la D4 con un nivel elevado de FDN (38 %). De acuerdo con De Blas *et al.* (1999) el nivel y el tipo de fibra son los principales factores que regulan el consumo de alimento y el tiempo de retención en el ciego obteniendo un menor PV al finalizar la engorda por lo tanto se relaciona negativamente con el peso final de las canales, tal como se puede observar en el Cuadro 10.

No obstante, Glass-Rodríguez *et al.* (2016) reportaron pesos de 975-1089 g en la canal caliente, resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo (Cuadro 10). Adicionalmente, Hernández *et al.* (2015) reportaron un peso promedio de 1110 g para las canales calientes y 1100 g para las canales frías de conejos de raza Nueva Zelanda, datos ligeramente por encima a los observados en el Cuadro 10.

El rendimiento en la canal caliente y fría no fue afectado por las dietas experimentales (Cuadro 10) y en promedio son similares con los datos reportados por De Blas *et al.* (1994), Larzul *et al.* (2004), Fabre *et al.* (2006) y Capra *et al.* (2013) con un rendimiento en la canal del 55.0-57.1 %, 54.3-56.1, 55.0-57.7 % y 54.4-54.6 %, respectivamente. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio se encuentran por debajo de lo reportado por la literatura.

Cuadro 10. Peso y rendimiento de la canal y, PR y longitud de los órganos digestivos.

Variables	Dieta				P	EMM
	1	2	3	4		
<b>Peso de órganos (%)</b>						
Estómago	1.3 <sup>b</sup>	1.1 <sup>c</sup>	1.3 <sup>b</sup>	1.5 <sup>a</sup>	<0.001	0.2
Duodeno	0.2	0.2	0.2	0.2	NS	0.0
Yeyuno-íleon	3.0	2.6	2.8	2.8	NS	0.6
Ciego	2.0	2.1	2.1	2.1	NS	0.4
Colon-Recto	1.9 <sup>b</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	1.6 <sup>c</sup>	2.2 <sup>a</sup>	<0.01	0.4
Hígado	3.6 <sup>a</sup>	3.5 <sup>b</sup>	3.2 <sup>c</sup>	3.3 <sup>bc</sup>	<0.05	0.5
Vesícula biliar	0.02 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	<0.01	0.0
<b>Peso canal (g)</b>						
Caliente	969.5 <sup>a</sup>	989.8 <sup>a</sup>	930.4 <sup>ab</sup>	841.7 <sup>b</sup>	<0.05	18.6
Fría	964.6 <sup>a</sup>	935.7 <sup>a</sup>	922.4 <sup>a</sup>	813.1 <sup>b</sup>	<0.05	17.7
<b>Rendimiento canal (%)</b>						
Caliente	51.7	50.3	49.4	48.8	NS	0.5
Fría	50.8	49.9	49	47.5	NS	0.4

<sup>abc</sup> Las letras diferentes en el mismo renglón para el mismo parámetro indican diferencias estadísticas.

P: Probabilidad. EMM: Error estándar de la media.

González y Caravaca (2007) mencionan que el rendimiento de la canal se sitúa en torno a un 60 % de un 100 % del PV, datos que concuerdan con los obtenidos por Palazzo *et al.* (2015) con un rendimiento a la canal del 60.3-61.4 % de acuerdo con las condiciones establecidas por Blasco y Ouhayoun (1993) para la estandarización de las mediciones de la carne de conejo y la canal.

Tal como se predijo, el aumento de la FDN a un 38 % en la D4 afectará negativamente el peso vivo final y el rendimiento de la canal (Costa, 1992; García *et al.*, 1993; Nicodemus *et al.*, 1999; De Blas *et al.*, 2002; García *et al.*, 2002) justo como lo menciona Marguenda *et al.* (2006) en un estudio en el que evidencian que la utilización de una dieta con mayor contenido de fibra (37 % de FDN) y una menor inclusión de almidón (11 %) empeora tanto la eficiencia alimenticia como el rendimiento a la canal, de la misma manera García *et al.* (2006) mencionan que el incremento del nivel de fibra tiende a reducir el rendimiento en la canal, resultados consistentes con lo observado en el presente trabajo.

El PR del estómago vacío fue mayor en la D4 con respecto a las demás dietas, mostrando una tendencia al alza conforme el nivel de FDN aumentaba, pudiendo inferir que

el incremento de fibra retrasa el paso del alimento a través de éste aumentando su tiempo de retención y reduciendo el consumo de alimento (Costa, 1992; García *et al.*, 1993; Nicodemus *et al.*, 1999; De Blas *et al.*, 2002; García *et al.*, 2002), con la consecuente disminución de la fermentación cecal (dependiente del consumo continuo de alimento) tal como lo menciona Gómez-Conde *et al.* (2009) y Abu *et al.* (2016), por lo que afecta negativamente el peso final, disminuyendo a su vez el rendimiento en canal, tal como se observó en los resultados finales (Cuadro 10). Sin embargo, los resultados se encuentran dentro de los datos publicados por García *et al.* (2000), Gutiérrez *et al.* (2003) y Gómez-Conde *et al.* (2009) reportando un PR para el estómago vacío del 0.86 al 1.56 % del PV. A su vez, Falcao-e-Cunha *et al.* (2004) describen que el aumento en el PR del estómago vacío se relaciona con un mayor tiempo de retención del alimento y la disminución en la intensidad de la peristalsis, lo cual le permite un mayor tiempo para las enzimas endógenas del conejo y las enzimas microbianas actuar sobre los cecotrofos. Sin embargo, este efecto lo relacionaron positivamente con el aumento en la inclusión de grasas en dietas balanceadas.

El peso relativo del duodeno, el yeyuno-íleon, el ciego y la longitud del intestino grueso no fueron afectados por las dietas experimentales (Cuadro 10). Hay poca evidencia del PR de los diferentes segmentos del intestino delgado por separado (duodeno, yeyuno e íleon) o incluso en su conjunto (solo el intestino delgado), pero se puede encontrar en la literatura el PR del tracto digestivo completo, representando del 15.5-16.7 % del PV (Nicodemus *et al.*, 2006) o hasta un 21.0-23.3 % (Abed *et al.*, 2012). Sin embargo, es más factible encontrar datos del PR del ciego y en especial del contenido cecal. Nicodemus *et al.* (2006) publicaron datos del PR del ciego vacío del 1.4-1.5 %, rango menor al obtenido en el presente trabajo (Cuadro 10) y del PR del contenido cecal del 3.8-4.8 % del PV. Aunque en el presente trabajo no se obtuvo el PR del contenido cecal se sugiere que en las próximas investigaciones sea considerado, ya que representa una variable importante que interfiere con el tiempo de permanencia de la digesta en el ciego. De acuerdo con estudios realizados por Carabaño *et al.* (1997) en los que mencionan que el nivel de fibra en la dieta tiene un efecto altamente significativo sobre el tiempo de permanencia de la digesta en el ciego, obteniendo un valor mínimo para un nivel del 33.5 % de FDN en dietas para conejos en engorda, asegurando un menor tiempo de permanencia, favoreciendo el tránsito del contenido cecal y aumentando el consumo de alimento. El aumento del contenido cecal con niveles altos de

fibra es común en otras especies de monogástricos. Sin embargo, los valores observados a niveles por debajo del mínimo recomendado de fibra son característicos del conejo y están relacionados con la hipomotilidad digestiva (Carabaño *et al.*, 1997). De esta manera, Carabaño *et al.* (1997) justifican que los rendimientos productivos máximos obtenidos para un mínimo recomendado de FDN (33.5 %) en dietas para conejos en engorda permite minimizar el peso del contenido cecal y con ello favorecer el tránsito del contenido cecal.

De acuerdo con lo antes mencionado, se esperaría que el aumento en el tiempo de retención del alimento y un nivel elevado de FDN afectaran negativamente el PR del ciego, sin embargo, este órgano no fue afectado por ninguna de las dietas empleadas en este trabajo, mostrando un PR del ciego constante para los diferentes niveles de FDN independientemente del uso del grano de maíz o sorgo. Estos resultados son similares a los publicados por Gómez-Conde *et al.* (2009) del 1.7-2.0 % del PV. Sin embargo, estos datos pudieran estar sesgando los resultados a favor o en contra por lo que es necesario interpretarlos con cautela. A pesar de ello, el PR del colon-recto se afectó negativamente de una manera similar a la del estómago, observándose un aumento del PR conforme incrementa el nivel de FDN en la dieta, sugiriendo un mayor tiempo de retención del contenido cecal y por lo tanto de las heces duras y blandas, destacando que la D3 a base de sorgo y con un nivel recomendado de FDN (33 %) obtuvo un menor PR del colon-recto sugiriendo que el nivel recomendado de FDN no modificó el PR de este órgano al no aumentar el tiempo de retención.

El PR del hígado fue mayor en la D1 a base de maíz y un nivel recomendado de FDN (33 %) y menor en la D3 a base de sorgo y un nivel recomendado de FDN (33 %), pudiendo sugerir que la tendencia al aumento del PR del hígado se podría deber a un mayor porcentaje de grasas presentes en el maíz con respecto al sorgo pero esto no sería posible ya que las dietas empleadas fueron balanceadas energéticamente (isoenergéticas), además de que no es tema para el presente trabajo. Sin embargo, cabe mencionar que el rango del PR del hígado es similar a los datos publicados por Simitzis *et al.* (2004) con 3.38-3.67 %. Asimismo, Glass-Rodríguez *et al.* (2016) menciona que el PR del hígado fue mayor en los conejos alimentados con la adición de suplementos de grasa en las dietas. Sin embargo, Falcao-e-Cunha *et al.* (2004) indica que los animales alimentados con un nivel elevado de

grasas obtuvieron los pesos más bajos para el hígado en relación con los que se les incluyó el nivel recomendado, contrario a lo mencionado por Rodríguez *et al.* (2016).

El PR de la vesícula biliar fue mayor en la D3 a base de sorgo y con el nivel recomendado de FDN (33 %) respecto a las demás dietas (D1, D2 y D4), hallazgo inesperado debido a que se especulaba que esta variable no fuera afectada al emplear dietas energéticamente balanceadas. Sin embargo, la escasa evidencia científica con respecto a los conejos nos limita a sustentar estos resultados.

El pH del estómago y colon-recto no fueron afectados por las dietas experimentales (Cuadro 11) y coincide con los valores reportados por De Blas y Wiseman (1998) y Cossu (2014) con un rango que oscila entre un pH 1-5 dependiendo del sitio de determinación en el estómago (región fúndica o del cardias-píloro), esta fuerte acidificación que inicia con la hidrólisis de las proteínas por acción de la pepsina. El pH del colon-recto es similar al pH del ciego y este varía alrededor de 6 dependiendo del patrón de alimentación y de la actividad microbiana (Cossu, 2014).

Cuadro 11. pH de los contenidos de los órganos digestivos y de la canal.

Variables	Dieta				P	EEM
	1	2	3	4		
<b>pH</b>						
Estómago	1.5	1.6	1.5	1.4	NS	0.05
Yeyuno-íleon	7.4 <sup>bc</sup>	7.5 <sup>a</sup>	7.3 <sup>c</sup>	7.5 <sup>a</sup>	<0.01	0.01
Ciego	6.5 <sup>a</sup>	5.9 <sup>b</sup>	6.4 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	<0.05	0.06
Colon-recto	6.7	6.7	6.7	6.7	NS	0.06
Canal caliente bz*	6.7	6.8	6.8	6.8	NS	0.02
Canal caliente ld***	6.8	6.8	6.8	6.8	NS	0.03
Canal caliente bf**	6.6	6.7	6.7	6.7	NS	0.02
Canal fría bz*	5.9	6.0	6.0	5.9	NS	0.01
Canal fría ld***	5.7	5.8	5.8	5.7	NS	0.01
Canal fría bf**	5.9	5.9	5.9	5.8	NS	0.01

<sup>abc</sup> Las letras diferentes en el mismo renglón para el mismo parámetro indican diferencias estadísticas. P: Probabilidad. EEM: Error estándar de la media. \*bz: *biceps brachii* \*\*bf: *biceps femoris* \*\*\*ld: *longissimus dorsi*.

El pH del yeyuno-íleon fue mayor en la D2 y la D4 con un nivel bajo y elevado de FDN (28 y 38 %, respectivamente) y fue menor en la D3 con un nivel recomendado de FDN (33 %) con respecto a los animales que solo consumieron las dietas a base de sorgo. Los resultados obtenidos sugieren que un nivel bajo y elevado de FDN afectan el pH del intestino



delgado con tendencia a alcalinizarse a un pH por encima de lo considerado normal, favoreciendo la proliferación bacteriana con la consecuente aparición de patologías gastrointestinales. Por lo tanto, la D3 a base de sorgo y con un nivel recomendado de FDN (33 %) tiende a mantener el pH cercano a la neutralidad entre 7.2-7.3, igual que el pH en los conejos considerados sanos (Gecele, 1986; Lebas *et al.*, 1997).

Asimismo, el pH del ciego fue mayor con la D2 a base de sorgo y con un nivel bajo de FDN con respecto a los demás dietas (D1, D3 y D4), observándose una ligera disminución del pH con tendencia a acidificarse, justificada por la asociación indirecta de una mayor concentración de AGV. Sin embargo, este hallazgo se contrapone a los datos publicados por Gidenne y Licois (2005) en los que mencionan que una mayor actividad fermentativa cecal y un pH más bajo está relacionado con un alto consumo de fibra aumentando la resistencia de los conejos en crecimiento a una enteropatía específica. Hecho que se esperaba encontrar con la D4 al contener un mayor porcentaje de FDN (38 %).

El pH de la canal caliente a nivel del músculo *biceps brachii*, *longissimus dorsi* y *biceps femoris* y el pH de la canal fría a nivel del músculo *biceps brachii*, *longissimus dorsi* y *biceps femoris*, no fueron afectados por las dietas experimentales (Cuadro 11). Se determinó el pH de los músculos antes mencionados como una variable indicadora de calidad y del correcto proceso de conversión de músculo a carne, principalmente de los músculos *longissimus dorsi* y *biceps femoris* ya que son considerados los músculos representativos en estudios realizados en la evaluación de la calidad de carne de conejo (Ramírez, 2004). De estos dos músculos diversos experimentos han evaluado variables como el color de la carne (Blasco *et al.*, 1993, 1996) la composición y el perfil de ácidos grasos (Peiretti, 2012; Dal Bosco *et al.*, 2014, 2015; Rasinska *et al.*, 2018) entre otras variables que no son objeto de estudio de este trabajo. Además, fueron considerados estos tres músculos debido a que Wang *et al.* (2016) mencionan que diversas investigaciones realizadas por Vigneron *et al.* (1976), Ouhayoun *et al.* (1983, 1988) y Blasco *et al.* (1990) han demostrado que los valores de pH y las tasas de metabolismo son distintas en los diferentes músculos del conejo.

Los valores de pH para el músculo *longissimus dorsi* en la canal caliente son similares a los reportados por Barrón *et al.* (6.1-7.2; 2004), Koziol *et al.* (6.25-6.64; 2015), Palazzo *et al.* (5.8-6.3; 2015), Sternstein *et al.* (6.4-6.9; 2015), Wang *et al.* (6.3-6.7; 2016,

2017) y Musco *et al.* (6.6-6.7; 2019). De la misma manera, los valores de pH son similares para el músculo *longissimus dorsi* en la canal fría (24 h después) de acuerdo con lo publicado por Barrón *et al.* (5.8-6.3; 2004), Yalcin *et al.* (5.5-5.6; 2006), Pogány *et al.* (5.6-5.7; 2010), Capra *et al.* (5.5; 2013), Simitzis *et al.* (5.5; 2014), Koziol *et al.* (5.9; 2015), Palazzo *et al.* (5.6-5.7; 2015), Zotte *et al.* (5.6-5.7; 2016), Wang *et al.* (5.6-5.8; 2016, 2017), Molina *et al.* (5.4; 2017), Belabbas *et al.* (5.6; 2018) y Musco *et al.* (5.8-5.9; 2019).

Los valores de pH para el músculo *biceps femoris* en la canal caliente son similares a los mencionados por Barrón *et al.* (7.3; 2004), Koziol *et al.* (6.9; 2015), Sternstein *et al.* (6.4-6.9; 2015) y Wang *et al.* (6.1-6.7; 2016, 2017). De la misma manera, los valores de pH son similares para el músculo *biceps femoris* en la canal fría (24 h después) según lo publicado por Barrón *et al.* (6.2; 2004), Yalcin *et al.* (5.7; 2006), Koziol *et al.* (6.0; 2015), Sternstein *et al.* (5.6-5.8; 2015), Zotte *et al.* (5.8; 2016), Wang *et al.* (5.7-5.8; 2016, 2017), Molina *et al.* (5.7-5.8; 2017), Belabbas *et al.* (5.7-5.8; 2018) y Musco *et al.* (5.9-6.0; 2019).

La composición química de las heces duras y cecotrofos respecto a las dietas experimentales sólo afectó el contenido de energía, siendo menor en promedio en los animales que consumieron 28 y 38 % de FDN. La composición química de las heces blandas fue menor en cuanto a MS y EE, y mayor en FDN, energía y PC, respecto a las heces duras. La PC de las heces blandas es mayor incluso que el nivel de proteína dietario (Cuadro 12).

Cuadro 12. Composición química de heces duras y cecotrofos a la 6<sup>ta</sup> semana de engorda.

Composición química (%)	Dieta				Heces		P		EEM	
	1	2	3	4	Blandas	Duras	Dieta	Heces		Dieta*H
Materia seca	44.7	45.3	45.6	45.9	31.3b	59.6 <sup>a</sup>	NS	<.0001	NS	0.05
Cenizas	13.6	13.9	13.4	13.3	13.5	13.6	NS	NS	NS	0.02
FDN*	52.5	51.2	51.7	52.4	60.8	42.8	NS	<.0001	NS	0.11
EE**	0.5	0.5	0.5	0.5	0.47b	0.6 <sup>a</sup>	NS	0.0299	NS	0.00
E***	4051.8 <sup>a</sup>	3926.4 <sup>b</sup>	4048.3 <sup>a</sup>	3940.2 <sup>b</sup>	4038.8 <sup>a</sup>	3932.2 <sup>b</sup>	<.0001	<.0001	NS	1.70
PC****	22.0	21.9	21.9	20.3	28.5 <sup>a</sup>	14.4 <sup>b</sup>	NS	<.0001	NS	0.07

<sup>abc</sup> Las letras diferentes en el mismo renglón para el mismo parámetro indican diferencias estadísticas. *P*: Probabilidad. EMM: Error estándar de la media. \*FDN: fibra detergente neutro. \*\*EE: extracto etéreo. \*\*\*E: energía (kcal/kg<sup>-1</sup>). \*\*\*\*PC: proteína cruda.

De acuerdo con De Blas y Wiseman (2010), un incremento en el contenido de fibra puede tener efectos adversos en la digestión, absorción y utilización de los nutrientes, tales como la reducción de la eficiencia en la retención de energía digestible. De la misma forma,

Rodríguez-Palenzuela *et al.* (1998) mencionan que la inclusión de fibra soluble en el tracto digestivo incrementa la viscosidad de la digesta intestinal y aumenta su fermentabilidad. Este incremento produce un aumento de la viscosidad en la capa de agua adyacente a la mucosa, lo que perjudica la absorción de nutrientes. Los conejos que consumieron la dieta 4 a base de sorgo con un alto porcentaje de FDN presentaron un decremento en la cantidad de energía en comparación con la dieta 1 y 3, aunque de acuerdo con los procesos fisicoquímicos antes mencionados, esperaríamos obtener valores más altos, debido al alto porcentaje de inclusión de fibra en esta dieta.

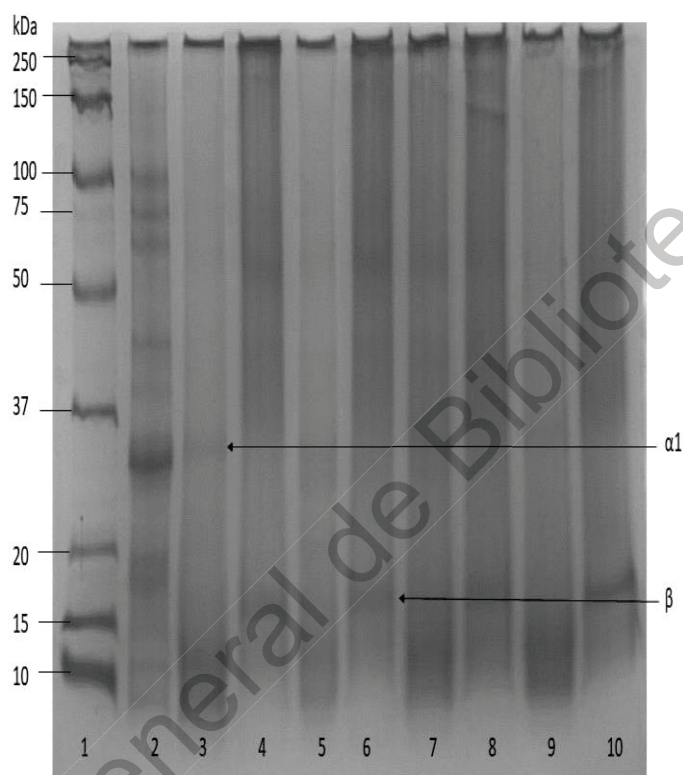
El contenido de materia seca se encuentra dentro del rango (Halls, 2008) para cecotrofos entre el 18-37 % y para heces duras del 48-66 %. De la misma forma, Carabaño *et al.* (1988) mencionan un porcentaje de materia seca de 30.29-36.81% en cecotrofos y de 46.40-58.35% en heces duras. Sin embargo, se encuentran ligeramente por encima de los datos publicados por Pérez de Rozas (cecotrofos: 27.1 %; heces duras: 53.3 %; 2014).

El porcentaje de FDN obtenido en los cecotrofos se encuentra por encima de los datos publicados por García *et al.* (1995), donde se menciona un rango que oscila entre 37.5-44.1 %, sugiriendo que las dietas utilizadas en el presente trabajo tuvieron un porcentaje de inclusión mayor al mencionado de FDN. Sin embargo, se obtuvo un valor de 42.8 % de FDN en heces duras, cercano a los datos publicados por García *et al.* (1995) en el contenido cecal, mencionando un rango de 36.1-42.7 %. Cabe destacar que esta comparación puede no ser muy precisa, debido a que a nivel cecal se encuentran tanto heces duras como los cecotrofos próximos a ingerir.

Las dietas altas en fibra han demostrado que incrementan la excreción en nitrógeno fecal (Falcón *et al.*, 2011) y por lo tanto se esperaría observar un alto porcentaje de PC en las heces duras y cecotrofos de la D4 alta en FDN (38 %), dato que no concuerda con los resultados obtenidos (Cuadro 12). Sin embargo, Halls (2010) menciona que la digestibilidad de la proteína se ve influenciada por el crecimiento del conejo, el cual disminuye después del destete hasta alcanzar un nivel estable a las nueve semanas de edad, siendo la disminución más baja a las 5 semanas, que pudiera explicarse por el incremento en el consumo de alimento.

En la Figura 3 se muestra un gel de electroforesis representativo de los 12 geles teñidos con azul de Coomassie; se observan proteínas que sugieren ser kafirinas debido a su peso molecular:  $\alpha 1$  (23- 25 kDa)<sup>3</sup> en las muestras de cecotrofos y  $\beta$  (18 kDa)<sup>4</sup> en las muestras de heces duras.

Figura 3. Gel de electroforesis con azul de Coomassie y proteínas no digeridas por los conejos alimentados con diferentes concentraciones de FDN en sus dietas.



Se observan proteínas sugerentes a karifirinas. 1: Marcador de peso molecular; 2: Sorgo; 3, 7, 9: Heces duras; 4, 6, 8, 10: Cecotrofos.

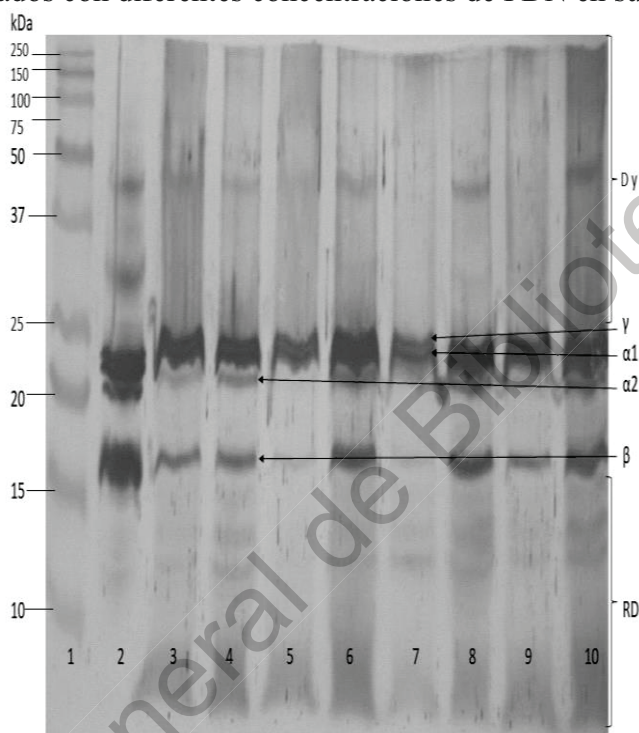
Tal como se logra observar en la Figura 3 y 4 la fracción proteica del sorgo no logra ser aprovechada en su totalidad debido a la precipitación de proteínas, producto de la interacción mediante puentes de hidrógeno y asociaciones no polares hidrofóbicas entre los taninos y las proteínas (Butler *et al.*, 1984).

En los geles teñidos con azul de Coomassie no se logran apreciar con claridad las distintas fracciones de kafirinas ( $\gamma$ ,  $\alpha 1$  y  $\alpha 2$ ) lo que podría sugerirnos que fueron digeridas. Sin embargo, hay dos razones por las cuales esto se descarta, la primera es la limitada capacidad

de detección de proteínas que tiene el azul de Coomassie (Wester-meier, 2011); y la segunda es la unión del primer anticuerpo a las proteínas en Western blot.

La Figura 4 muestra un western blot representativo de los 12 realizados; en él se observa la unión del anticuerpo anti kafirinas, así como del anticuerpo anti-IgG de conejo.

Figura 4. Western blot con fracciones de kafirinas no digeridas por los conejos alimentados con diferentes concentraciones de FDN en sus dietas.



D y T: Dimeros y Trimeros de kafirinas; RD: Residuos de la digestión de kafirinas; 1: Kaleidoscope Prestained Standards; 2: Sorgo; 3, 5, 7, 9: Cecotrofos; 4, 6, 8, 10: Heces duras.

La presencia de dimeros y trimeros de kafirinas en Western blot nos demuestra el efecto anti nutricional de los taninos en el sorgo, así como las características de algunas fracciones de kafirinas que dificultan su digestión. Un ejemplo de esto sería el caso de la  $\gamma$  kafirina que fue detectada tanto en cecotrofos como en heces duras, estas proteínas tienen la capacidad de formar enlaces disulfuro y complejos resistentes a proteasas (Wong *et al.*, 2010) lo que explica por qué ni siquiera la fermentación en el ciego y la segunda ingesta logró volverla aprovechable.

Un dato interesante en el Western blot es la mayor presencia de residuos de digestión en las muestras de heces duras a comparación de las muestras de cecotrofos, esto nos sugiere que

la primera digestión a la que se ve expuesto el alimento no logra romper los enlaces proteicos de las kafirinas, sin embargo la segunda fermentación en el ciego de los conejos es más intensa y efectiva como menciona Martínez (2004), dejando en las heces mayores concentraciones de residuos de su digestión y menores concentraciones de proteínas intactas.

Existe una quinta kafirina que fue detectada mediante Western blot, es la  $\delta$  kafirina cuyo peso molecular es de 13 kDa (De Mesa-Stonestreet *et al.*, 2010) y cuya supresión en sorgo modificado resulta en un incremento de digestibilidad (Da Silva *et al.*, 2011). Esta kafirina tampoco parece ser correctamente aprovechada puesto que se encontró en prácticamente todas las muestras.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

El sorgo al tener una composición química muy semejante a la del maíz y de ser el cereal más empleado en México para alimentación animal puede ser empleado como grano base en dietas para conejos al no afectar significativamente los parámetros productivos, al menos los evaluados en este trabajo. Se debe considerar el nivel de inclusión de FDN en las dietas para conejos en engorda, ya que un elevado porcentaje de esta afecta negativamente el peso vivo final y se verá reflejado en el peso y rendimiento de la canal. Se deben continuar haciendo estudios para evaluar, según las condiciones de la cunicultura en el país, cuál es el contenido ideal de nutrientes que deben consumir los conejos en engorda, ya que variables morfofisiológicas como pH de los contenidos gastrointestinales también se ven afectadas. Por lo tanto, el sorgo puede sustituir el uso del maíz en la elaboración de dietas para conejos sin afectar negativamente los parámetros productivos.

El nivel dietario de FDN afectó algunas de las variables evaluadas como lo fue el análisis de los cecotrofos; el proceso de la cecotrofia les permite el aprovechamiento digestivo de la proteína microbiana de los cecotrofos. Se debe seguir realizando investigación para entender de una mejor manera el efecto del nivel de FDN sobre el aprovechamiento digestivo de los nutrientes que pueden ser evaluados indirectamente a través del análisis químico de las heces.

El proceso de cecotrofia es pieza clave para la completa digestión de kafirinas, permitiendo al animal aprovechar parte de estas proteínas una vez realizada la segunda fermentación en el ciego a pesar de los efectos causados por los taninos y las mismas proteínas. El sorgo puede ser utilizado en las dietas para conejos siempre y cuando sea acompañado con un porcentaje correcto de fibra detergente neutro, no obstante, no se logró determinar si el porcentaje de FDN interfiere con el aprovechamiento de las kafirinas por lo que se debe continuar haciendo estudios para evaluar, según las condiciones de la cunicultura en el país, el contenido ideal de nutrientes que deben consumir los conejos en engorda.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Abecia, L., M. Fondevila, J. Balcells, J.E. Edwards, C.J. Newbold, N.R. McEwan. 2005. Molecular profiling of bacterial species in the rabbit caecum. *FEMS Microbiology Letters* 244 (2005) 111-115.
- Abed, E.N., R. Delgado, R. Abad, D. Menoyo, J. García, R. Carabaño. 2012. Efecto de la fibra soluble e insoluble de la pulpa de remolacha sobre la fisiología digestiva de gazapos destetados a 25d. *RCCV Vol. 6(1)2012*. ISSN: 1988-2688.
- Abu, H.S.H., A.Z.M. Salem, A.A. Hassan, A.E. Kholif, M.M.Y. Elghandour, A. Barbabosa, S. López. 2016. Digestion, growth performance and caecal fermentation in growing rabbits fed diets containing foliage of browse trees. *World Rabbit Sci.* 2016, 24: 283-293.
- Abubakar, M., U.D. Doma, D.J.U. Kalla, M.B. Ngele, C.L.D. Augustine. 2006. Effects of dietary replacement of maize with malted or unmalted sorghum on the performance of weaner rabbits. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 18, Article #65.
- Al-Mamary, M., A.H. Molham, A.H. Abdulwali, A. Al-Obeidi. 2001. In vivo effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. *Nutrition Research*. Elsevier. 21 (10): 1393-1401.
- Álvarez, J., R. Medellín. 2005. *Oryctolagus cuniculus*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México. D.F.
- Alves, P.C., N. Ferrand, K. Hackländer. 2008. *Lagomorph Biology: Evolution, Ecology, and Conservation: 1-9* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- AOAC, Association Official Analytical Chemists. 2002. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Argüello, V.J.L. 1991. La enfermedad hemorrágica viral del conejo: vacunación y respuesta inmunológica. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 10(2). 459-479.
- Aubret, J.M., J. Duperray. 1992. Effect of cage density on the performance and health of the growing rabbit. *J Appl Rabbit Res.* 15: 656-660. Morisse JP, Maurice R. 1997. Influence of stocking density or group size on behaviour of fattening rabbits kept under intensive conditions. *Appl Anim Behav. Sci.* 54: 351-357.
- Barrón, G., G. Rosas, C.H. Sandoval, O. Bonilla, G. Reyes, P. Rico, L. Cardona, F. Zamora. 2004. Effect of genotype and sex on pH of *Biceps femoris* and *Longissimus dorsi* muscles in rabbit carcasses. In: *Proceedings 8<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, September, Puebla, México.
- Baselga, I.M., J.M.A. Santacreu, C. Argente. 2002. Tomo X Producciones cunícola y avícola alternativas. Editorial Mundi-Empresa. Madrid, España.
- Bateman, J.V. 1970. *Nutrición animal: manual de métodos analíticos [Animal nutrition: manual of analytical methods]*. México: Herrero Hnos., Sucesores, S.A.



- Battaglini, M.B., A. Grandi. 1988. Some observations of feeding behavior of growing rabbits. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Budapest. Vol. 3. Sandor Holdas, Hercegalom. pp. 79.
- Belabbas, R., M. García, H. Ainbaziz, N. Benali, A. Berbar, Z. Boumahdi, M.J. Argente. 2018. Growth performances, carcass traits, meat quality, and blood metabolic parameters of local Algerian population and synthetic line. *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916.
- Bellier, R., T. Gidenne, M. Vernay, M. Colin. 1995. In vivo study of circadian variations of cecal fermentation pattern in postweaned and adult rabbits. *J. Anim. Sci.* 1995 73:128-135.
- Bellier, R., T. Gidenne. 1996. Consequences of reduced fibre intake on digestion, rate of passage and caecal microbial activity in the young rabbit. *British Journal of Nutrition* 75, 353-363.
- Bellier, R., T. Gidenne. 1996. Consequences of reduced fibre intake on digestion, rate of passage and caecal microbial activity in the young rabbit. *British Journal of Nutrition* (1996), 75, 353-363.
- Bennegadi, N., T. Gidenne, L. Licois. 2001. Impact of fibre deficiency and sanitary status on non-specific enteropathy of the growing rabbit. *Anim. Res.* 50, 401-413.
- Betancourt, L.C.A., S.M.G. Bernal, L.P.A. Vázquez, D. Bauman, K.J. Harvatine, B.J. Becerra, S.D. Gaspar, H.M. Parada, V.J.J Díaz. 2017. Relación entre el perfil de los ácidos grasos del cecotrofo y el de la leche de conejas Nueva Zelanda. En: X Foro de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales 2017. Editores: Cantó AGJ, Elton PJE. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Biju-Duval, C., H. Ennafaa, N. Dennebouy, M. Monnerot, F. Mignotte, F. Soriguer, E. A. Gaaïed, A. Hili y J. Mounolou. 1991. Mitochondrial DNA evolution in lagomorphs: origin of systematic heteroplasmy and organization of diversity in European rabbits, *J. Mol. Evol.* (1991) 33-92-102.
- Björnhag, G. 1972. Separation and delay contents in the rabbit colon. *Swedish Journal of Agricultural Research* 2, 125.
- Blas, E., T. Gidenne. 1998. Digestion of starch and sugars. In: *Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., J. Wiseman. Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 17.
- Blasco, A., J. Ouhayoun, G. Masoero. 1993. Harmonization of criterion and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1, 3-10.
- Blasco, A., J. Ouhayoun. 1993. Harmonization of criterion and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Science* (1993), 4 (2). 93-99.
- Blasco, A., M. Piles, E. Rodríguez, M. Pla. 1996. The effect of selection for growth rate on the live weight growth curve in rabbits. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, 2, 245-248. Toulouse.
- Blasco, A., M. Piles. 1990. Muscular pH of the rabbit. *Ann. Zootech.* 39, 133-136.

- Boriello, S.P., J.R. Carman. 1983. Cit. Da Patton, N. M. 1983. Reseach review. Journal of Applied Rabbit Research, 6: 61.
- Brewer, N.R., L.J. Cruise. 1994. Physiology, In P. J. Manning, D. H. Ringler & C. E. Newcomer (eds.), The biology of the laboratory rabbit (2<sup>nd</sup> Ed.). London: Academic Press. pp. 63.
- Butler, L.G., D.J. Riedl, D.G. Lebryk, H.J. Blytt. 1984. Interaction of proteins with sorghum tannin: mechamism, specifity and significance. J. Am. Oil. Chem Soc. 61: 916-920.
- Caamal-Cauich, I., V.G. Pat-Fernández, D. Martínez-Luis. 2016. Análisis de la producción del cultivo de sorgo en México y estado de Oaxaca. En: Rérez, F., E. Figueroa y L. Godínez (eds.) Producción, Comercialización y Medio Ambiente. Handbook. T-I. ECORFAN, Texcoco de Mora-México.
- Camacho, A., L.A. Bernejo, J. Viera, J. Mata. 2010. Manual de Cunicultura. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. ISBN 84-607-3797-7.
- Camara, V.M., D.J. Prieur. 1984. Secretion of colonic isoenzyme of lysozyme in association with cecotrophy of rabbits. Am. J. Physio. 1984;247: G19-23.
- Campos, G. 2008. Conceptos básicos de cunicultura. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Agencia de Servicios Agropecuarios Vázquez de Coronado, Costa Rica.
- Camps, J. 2001. Evolución del conejo (*O. cuniculus*), y su origen ibérico. Evolución prehistórica, y taxonomía, de los lepóridos, y el exclusivo origen ibérico de los conejos europeos silvestres, y de todas las razas de los domésticos. Barcelona, España.
- Camps, J. 2008. Los primeros conejos llegaron a América iniciado noviembre de 1493. Referencias halladas sobre el envío de "*O. cuniculus*", a América. (Crónicas de Indias). Y los primeros autóctonos avistados. ISSN: 1130-5436.
- Camus, P., S. Castro, F. Jaksic. 2008. El conejo europeo en chile: historia de una invasión biológica. Vol. 41 n. 2 p. 305-309. ISSN 0073-2435. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-71942008000200001#9](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-71942008000200001#9)
- Capra, G., R. Martínez, F. Fradiletti, S. Cozzano, L. Repiso, R. Márquez, F. Ibáñez. 2013. Meat quality of rabbits reared with two different feeding strategies: with or without fresh alfalfa *ad libitum*. World Rabbit Sci. 2013, 21: 23-32.
- Capra, G., R. Martínez, F. Fradiletti, S. Cozzano, L. Repiso, R. Márquez, F. Ibáñez. 2013. Meat quality of rabbits reared with two different feeding strategies: with or without fresh alfalfa *ad libitum*. World Rabbit Sci. 2013, 21:23-32.
- Carabaño, R. 1995. Valor nutritivo de los cereales en conejos. XI Curso de Especialización FEDNA. Departamento de Producción Animal, U.P. Madrid.
- Carabaño, R., C. De Blas, J. García, N. Nicodemus, P. Pérez de Ayala. 1997. Necesidades de fibra en conejos. XIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España.

- Carabaño, R., J. Piquer. 1998. The digestive system of the rabbit. In: De Blas, E., J. Wiseman, editors. The nutrition of the commercial rabbit. Wallingford: CABI Publishing; 1998.
- Carabaño, R., J.M. Merino. 1996. Effect of ileal cannulation on feed intake, soft and hard faeces excretion throughout the day in rabbits. In: Lebas, F. (Ed). Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress. Association Francaise de Cuniculture, Lempdes, Toulouse, pp. 121.
- Carabaño, R., M.J. Fraga, G. Santomá, J.C. De Blas. 1988. Effect of diet on composition of cecal contents and on excretion and composition of soft and hard faeces of rabbits. J. Anim Sci., Vol. 66, 901-910.
- Carabaño, R., M.J. Villamide, J. García, N. Nicodemus, A. Llorente, S. Chamorro, D. Menoyo, P. García-Rebollar, A.I. García-Ruíz, J.C. De Blas. 2009. New concepts and objectives for proein-amino acid nutrition in rabbits: a review. World Rabbit Sci. 17: 1-14.
- Carabaño, R., P.G. Rebollar, M.S. Gómez-Conde, S. Chamorro, J. García, C. De Blas. 2005. Nuevas tendencias en la alimentación de conejos: influencia de la nutrición sobre la salud intestinal. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Carneiro, M., N. Ferrand, M.W. Nachman. 2009. Recombination and speciation: loci near centromeres are more differentiated than loci near telomeres between species of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). Genetics, 181: 593-606.
- Caro, Y., L.E. Dihigo. 2012. Comportamiento productivo de conejos alimentados con dietas que incluían harina integral de dólido y mucuna, Rev. Unell. Cienc. Tec. 30: 29-35. 2012.
- Carrasco, N., M. Zamora y A. Melin. 2011. Manual de sorgo. 1 ed. Ediciones INTA 2011. ISBN: 978-987-679-071-0.
- Carvajal, C.C. 2016. El ácido úrico: de la gota y otros males. Revisión Bibliográfica. Medicina Legal de Costa Rica. Vol. 33 (1). ISSN 1409-0015.
- Castro, A.C. 2009. Utilizacao digestiva, metodologias de avaliacao "in vitro" de dietas e caracterizacao da microbiota cecal em coelhol suplementados com *Lithothamnium*. Tese apresentada como requisito parcial para obtencao do grau de Doutor em Zootecnia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Chamba, E.B., N.G. Halford, J. Forsyth, M. Wilkinson, P.R. Shewry. 2005. Molecular cloning of  $\beta$ -kafirin, a methionine-rich protein of sorghum grain. J. Cereal Sci. 41:381-383.
- Chamorro, S., M.S. Gómez-Conde, A.M. Pérez de Rozaz, I. Badiola, R. Carabaño, C. De Blas. 2005. Efecto del nivel y tipo de proteína en piensos de gazapos sobre parámetros productivos y salud intestinal. XXX Symposium de Cunicultura, Valladolid, España.
- Cheeke, P.R. 1987. Alimentación y Nutrición del Conejo. Editorial Acribia, S. A., Zaragoza, España.

- Cheeke, P.R. 1987. Digestive physiology. In T. J. Cunha (Ed.), Rabbit feeding and nutrition. Orlando: Academic Press. pp. 34.
- Cheeke, P.R. 1994. Nutrition and nutritional diseases. In P. J. Manning, D. H. Ringler y C. E. Newcomer (eds.), The biology of the laboratory rabbit, 2<sup>nd</sup> end. London: Academic Press. pp. 321.
- Cheeke, P.R., N.M. Patton. 1980. Carbohydrate overload of the hindgut. A probable cause of enteritis. Journal of Applied Rabbit Research. 3 (3): 20-23.
- Church, D.C., W.G. Pond, K.R. Pond. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales, 2da Ed. México, Editorial Limusa.
- CIOMS, Council for International Organizations of Medical Sciences. 1985. In: International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva, Switzerland. ISBN: 9290360194.
- Comité Nacional Sistema Producto Cunicola. 2016. Estadísticas, Disponible en: <http://sistemaproductocunicola.org.mx/estadisticascunicola.html>. Consultado el 09/11/2018.
- Corrent, E. 2003. Fotografía de la cunicultura en los países latinos: España-Francia-Italia-Portugal. XXVIII Symposium de Cunicultura, Alcañiz, España.
- Cossu, M. E., G. Capra. 2014. Valor nutritivo de la carne de conejo y su potencial como alimento funcional. En: Tecnología de producción de conejos para carne. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Capra y Blumetto, Ed.), Uruguay. ISSN: 1688-9266. pp. 119.
- Cossu, M.E. 2014. Algunos conceptos sobre la nutrición del conejo para carne. En: Tecnología de producción de conejos para carne. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Capra y Blumetto, Ed.), Uruguay. ISSN: 1688-9266. pp. 63.
- Cossu, M.E. 2014. Algunos conceptos sobre nutrición del conejo para carne. En: Capra y Blumetto. 2014. Tecnología de producción de conejos para carne. Uruguay. ISSN: 1688-9266.
- Coutelet, G. 2015. Technical and economic results of the rabbit farms in France in 2014. In: Proc. 16<sup>èmes</sup> J. Rech. Cunicola, ITAVI publ. Paris, Le Mans, France. pp. 193.
- Crusie, J.L., R.B. Nathan. 1994. Anatomy In P. J. Mannaing, D. H. Ringler & C. E. Newcomer (eds.), The biology of the laboratory rabbit, 2<sup>nd</sup> Ed. London: Academic Press. pp. 47.
- Da Silva, L.S., R. Jung, Z. Zhao, K. Glassman, J. Taylor, J.R.N. Taylor. 2011. Effect of suppressing the synthesis of different kafirina subclasses on grain endosperm texture, protein body structure and protein nutritional quality in improved sorghum lines. Journal of Cereal Science, Vol. 54 pp. 160.
- Dal Bosco, A., C. Castellini, M. Martino, S. Mattioli, O. Marconi, V. Sileoni, S. Ruggeri, F. Tei, P. Benincasa. 2015. The effect of dietary alfalfa and flax sprouts on rabbit meat antioxidant content, lipid oxidation and fatty acid composition. Meat Science, 106, 31-37.

- Dal Bosco, A., C. Mugnai, V. Roscini, S. Mattioli, S. Ruggeri, C. Castellini. 2014. Effect of dietary alfalfa on the fatty acid composition and indexes of lipid metabolism of rabbit meat. *Meat Science*, 96, 606-609.
- De Blas, C., E. Taboada, J. Méndez. 1994. Avances en necesidades de nutrientes de conejos de alta productividad. X Curso de especialización FEDNA, Madrid, España.
- De Blas, C., G.G. Mateos. 1997. In: *The nutrition of rabbits*. Ed. CAB International. Wallingford. In press. CHECAR
- De Blas, C., G.G. Mateos. 1998. Feed formulation. In *The nutrition of the rabbit*. CABI Publishing, Wallingford. ISBN: 0 85199 279 X.
- De Blas, C., I. Gutiérrez y R. Carabaño. 1999. Destete precoz en gazapos, situación actual y perspectivas. XV Curso de Especialización. Avances en Nutrición y Alimentación Animal. FEDNA.
- De Blas, C., J. García, S. Gómez-Conde, R. Carabaño. 2002. Restricciones a la formulación de piensos para minimizar la patología digestiva en conejos. CHECAR
- De Blas, C., J. Wiseman. 1998. *The nutrition of the rabbit*. ISBN 0-85199-279-X.
- De Blas, C., J. Wiseman. 2010. *The nutrition of the Rabbit*. CAB International 2010. ISBN 978-1-84593-669-3.
- De Blas, E., T. Gidenne. 1998. Digestion of starch and sugars. In: De Blas E., J. Wiseman, editors. *The nutrition of the rabbit*. Wallingford: CABI Publishing. ISBN: 0 85199 279 X.
- De Blas, J.C., G.G. Mateos. 1998. Feed formulation. In: *Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., J. Wiseman. Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. pp 241.
- De Blas, J.C., J. García, R. Carabaño. 2002. Revisión a las principales peculiaridades sistema digestivo de los conejos, que son responsables, entre otras causas, de la complejidad de esta producción, Avances en nutrición. XXVII Symposium de Cunicultura de ASESCU.
- De Blas, J.C., J.R. Astillero, S. Chamorro, A. Corujo, J. García-Alonso, P. García-Rebollar, J. García, R. Carabaño. 1999. Role of fiber in rabbit diets: a review. *Ann. Zootech.* 48, 3-13.
- De Mesa-Stone Street, J.N., S. Alavi, S.R. Bean. 2010. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. *Journal Food Science* 75 (5): R90-R104.
- De-Blas, C., J. García, C. Gómez-Conde, R. Carabaño. 2002. Restricciones a la formulación de piensos para minimizar la patología digestiva en conejos. XVIII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- De-Blas, J.C., J.R. Astillero, S. Chamorro, A. Corujo, J. García-Alonso, P. García-Rebollar, A.I. García-Ruiz, D. Menoyo, N. Nicodemus, C. Romero y R. Carabaño. 2007. Efectos de la nutrición y el manejo sobre el desarrollo de patologías digestivas de gazapos en un entorno de enteropatía epizoótica. Salud intestinal en gazapos. XXIII Curso de especialización FEDNA.

- De-Mesa-Stonestreet, J.N., S. Alavi, S.R. Bean. 2010. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirinas. *J. Food Sci.* 75:90-104.
- Diario Oficial de la Federación. 2001. NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. México.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2003. NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo. México.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. 2015. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. México.
- Domínguez, H., G. Barrios, Y. Pérez. 2008. Fisiología digestiva y nutrición en la especie cunícola. Centro de Estudios Biotecnológicos, Cuba.
- Duodu, K.G., J.R. Taylor, P.S. Belton, B.R. Hamaker. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. Cereal. Sci.* 38:117-131.
- Eberhart, S. 1980. The influence of environmental temperatures on meat rabbits of different breeds. In: Proceedings of the II World Rabbit Congress, Barcelona, April 1980, vol. 1, 399-409.
- Eiben, C.S., M. Mézes, N. Szijártó, K. Kustos, KA. Gódor-Surmann, M. Erdélyi. 2004. Dose-dependent effect of cellulase supplementation on performance of early-weaned rabbit. In: proceedings VII World Rabbit Congress, September 2004, Puebla, México.
- El-Adawy, M.M. 1996. The influence of caecotomy on composition and excretion rate of soft and hard faeces, feed and water intake in rabbits. In: Lebas, F. (Ed.). proceedings of the 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress. Association Francaise de Cuniculture, Lempdes, pp. 145.
- Fabre, C., M.A. Juvero, E. Blas, J.C. Fernández, J.J. Pascual. 2006. Utilización de un pienso rico en fibra digestible e indigestible y pobre en almidón en conejos en engorde: ensayo en condiciones de campo. Lorca, España. ISBN 84-609-9375-2.
- Falcao-e-Cunha, L., H. Peres, J.P.B. Freire, L. Castro-Solla. 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. and Tech.* 117 (2004) 131-149.
- Falcao-E-Cunha, L., J.P. Bengala Freire, A. Goncalves. 1996. Effect off at and fiber nature on performances, digestibility, nitrogen balance and digestive organs in growing rabbits. VI World Rabbit Congress, Toulouse. Vol. 1, 157-162.
- Falcao-E-Cunha, L., P. Ferreira, J. P. Bengala-Freire. 1998. Etude de l'effet de l'interaction fibres x lipides dans l'alimentation du lapin: croissance, digestibilité et paramètres fermentaires. 7<sup>émes</sup> Journ. Rech. Cunicole Fr., Lyon. 155-158.
- Falcóm, M.R., J.M. Barrón, A.L. Romero, M.F. Domínguez. Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de fibra dietaria. *Rev. Chil. Nutr.* Vol. 38:3, 369-375, septiembre 2011.

- FEDNA, 2016. Sorgo blanco (bajo en taninos <0.4%) (rev. Nov. 2016). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Consultado en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos). (Fecha de consulta: 17 de agosto del 2019).
- Fernández, J. A., F.A. Quiñonez, F.A. Cervantes, A. Melgoza. 2015. Conejos y Liebres silvestres de México. CONABIO. Biodiversitas, 123:7-11.
- Fioramonti, J., Y. Ruckebush. 1976. La motricité caecale chez lapin. 3. Dualité de l'excretion fécale. Annales de Recherches Vétérinaires 7, 281-295.
- FIRCO, Fideicomiso de riesgo compartido. 2017. El maíz, base de la dieta mexicana desde la época prehispánica. Consultado el 17 de septiembre 2019 en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/el-maiz-base-de-la-dieta-mexicana-desde-epoca-prehispanica>
- Flores, A.D.J., S.G.G. De-las-Nieves. 2016. Análisis situacional y propuesta de estrategias para apoyar el desarrollo de la cunicultura de tipo semiindustrial en el municipio de Texcoco, México.
- Forrester-Anderson, I.T., J. McNitt, R. Way, M. Way. 2006. Fatty acid content of pasture-reared fryer rabbit meat. Journal of Food and Analysis, 19, 715-719.
- Fuentes, P.F., R. Mendoza, R. Rivera, M.D. Vara M. 2010. Guía de Manejo y Cuidado de Animales de Laboratorio: Conejo. Ministerio de Salud del Perú. ISBN: 978-9972-857-80-5.
- García, J., J.C. De Blas, R. Carabaño, P. García. 1995. Effect of the type of Lucerne hay on caecal fermentation and nitrogen contribution through caecotrophy in rabbits. Reprod., Nutr. and Devel. 35: 267-275.
- García, J., J.C. De Blas, R. Carabaño, P. García. 1995. Effect of the type of lucerne hay on caecal fermentation and nitrogen contribution through caecotrophy in rabbits. Reprod. Nutr. Dev. Vol. 35, 267-275, Madrid, Spain, February 1995.
- García, J., J.F. Gálvez, J.C. De Blas. 1993. J. Anim. Sci. 71:1823-1830. CHECAR
- García, J., N. Nicodemus, R. Carabaño, J.C. De Blas. 2002. J. Anim. Sci. 80:162-170. CHECAR
- García, J., R. Carabaño, C. De Blas, A. García. 2006. Importancia del tipo de fibra: nuevos conceptos y ejemplos para su aplicación. XXII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- García, J., T. Gidenne, L. Falcao-e-Cunha, C. De-Blas. 2002. Identification of the main factors that influence caecal fermentation traits in growing rabbits. Anim. Res. 51, 165-173.
- García, J.C., M.A. Pró, C.M. Becerril, M.E. Suárez, O.J.I. Cortés y M.J. González. 1998. Diagnóstico de la producción y consumo de la carne de conejo en la población de Xocotlán, Texcoco, Estado de México. Memorias del primer Congreso de Cunicultura de las Américas. Montecillo, México.

- Gay, G.J. 2004. Enfermedad hemorrágica viral de los conejos (EHVC) su erradicación en México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SENASICA.
- Gecele, P. 1986. Fisiología digestiva del conejo adulto. Monografías de Medicina Veterinaria, 8 (2). Consultado de: <https://monografiasveterinaria.uchile.cl/index.php/MMV/article/view/4876/4762>.
- Giannenas, I. 2013. Alimentación. Recientes avances en nutrición vitamínica para conejos (II). Revista CUNICULTURA. Año 38. N° 222. pp. 33.
- Gidenne, T. 1993. Measurement of the rate of passage in restricted fed rabbits: effects of dietary cell wall level on the transit of fibre particles of different sizes. Anim. Feed. Sci. Technol. 42, 151-163.
- Gidenne, T., A. Lapanouse, L. Fortun-Lamothe. 2004. Feeding strategy for the early weaned rabbit: interest of a high energy and protein starter diet on growth and health status. In: proceedings VII World Rabbit Congress, September 2004. Puebla, México. ISSN 2308-1910.
- Gidenne, T., C. Poncet. 1985. Digestion chez le lapin en croissance, d'une ratio á taux élevé de constituants pariétaxus: étude méthodologique pour le calcul de digestibilité apparente, par segment digestif. Annales de Zootechnie 34, 429.
- Gidenne, T., F. Lebas, D. Savietto, P. Dorchies, J. Duperray, C. Davoust, L. Lamothe. 2015. Chapitre 5: Nutrition et alimentation. In: Gidenne T., Le Lapin: de la biologie á l'élevage, Editions Quae Versailles, France. pp. 139.
- Gidenne, T., F. Lebas, D. Savietto, P. Dorchies, J. Duperray, C. Davoust, L. Fortun-Lamothe. 2015. Chapitre 5: Nutrition et alimentation. In: Gidenne, T., Le Lapin: de la biologie á l'élevage, Editions Quae Versailles, France.
- Gidenne, T., F. Lebas. 2005. Le comportement alimentaire du lapin. 11èmes Journées de la Recherche Cunicole, novembre 2005, Paris.
- Gidenne, T., J. García, F. Lebas, D. Licois. 2010. Chapter 10. Nutrition and feeding strategy: Interactions with Pathology. In: Nutrition of the Rabbit (De Blas C., J. Wiseman. Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 179.
- Gidenne, T., J. Pinhero, L. Falcao, C. Cunha. 2000. A comprehensive approach of the rabbit digestion: consequences of reduction in dietary fiber supply. Livest. Prod. Sci. 64:225.
- Gidenne, T., J.M. Pérez. 1994. Apport de lignines et alimentation du lapin en croissance. I. Consequences sur la digestion et le transit. Ann. Zootech. 43, 313-322.
- Gidenne, T., L. Francois. 2002. Role of dietary nutrition and in digestive troubles prevention. II Rabbit Congress of the Americas, Habana, Cuba.
- Gidenne, T., L. Maertens. 2016. Feed efficiency in rabbit production: Nutritional, technico-economical and environmental aspects. World Rabbit Congress, 2016. Qingdao, China.



- Gidenne, T., L. Mirabito, N. Jehl, J.M. Pérez, P. Arveux, A. Bourdillon, C. Briens, J. Duperray, E. Corrent. 2004a. 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., N. Jehl, A. Lapanouse, M. Segura. 2004b. Inter-relationship 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. *Br. J. Nutr.* 92,95-104.
- Gidenne, T., N. Jehl. 1999. Zootechnical response of the growing rabbit face to a decrease in fibre supply, for diets rich in digestible fibre. In: J.M. Pérez (ed), 8<sup>ème</sup> J. Rech. Cunicoles Fr., ITAVI éditions, juin Paris.
- Gómez, R.S., M.L. Ángeles, L.G. Mariscal, G.C.A. Mejía, V.D. Braña, F.J.A. Rentería, I.J.A. Cuarón. 2009. Estrategias para el uso eficiente de materias primas en porcicultura. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP-SAGARPA. Libro Técnico No. 1, Colón, Querétaro, México.
- Gómez, S.L.A. 2013. Caracterización química, degradabilidad e indicadores de la fermentación ruminal *in vitro* de la hoja de mezquite (*Prosopis leavigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*) durante dos épocas del año, para su posible uso como alternativa de suplementación de caprinos en agostaderos semiáridos. Tesis. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Gómez-Conde, M.S., J. García, S. Chamorro, P. Eiras, P.G. Rebollar, A. Pérez de Rozas, I. Badiola, J.C. De Blas, R. Carabaño. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in 25 d old weaned rabbits. *J. Anim. Sci.* 85, 3313-3321.
- Gómez-Soto J.G. 2017. Tesis doctoral. Efecto del contenido de taninos y kafirinas del sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] incorporado a la dieta sobre la morfofisiología gastrointestinal y la síntesis de proteína muscular en cerdos en crecimiento-finalización. Santiago de Querétaro, Qro. México.
- Gómez-Soto, J.G., T.C. Reis-de-Souza, G. Mariscal-Landin, A. Aguilera-Barreyro, M.G. Bernal-Santos. 2018. Gastrointestinal morphophysiology and presence of kafirins in ileal digesta in growing pigs fed sorghum-based diets. *J App Anim Res.* 46: 618-625. DOI: 10.1080/09712119.2017.1371607
- González, P.R., F.P.R. Caravaca. 2007. Capítulo 30 Producción de conejos de aptitud cárnica. En: *Sistemas ganaderos en el siglo XXI*. ISBN: 978-84-472-0929-3.
- Grepe, N. 2001. Crianza de conejos. Editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México.
- Gutiérrez, I., A. Espinosa, J. García, R. Carabaño, J.C. De Blas. 2002. *J. Anim. Sci.* 80: 1029-1037. CHECAR
- Gutiérrez, I., J. García, R. Carabaño, G.G. Mateos, J.C. De Blas. 2000. Effect of exogenous phytase on phosphorus and nitrogen digestibility in growing-finishing rabbits. *World Rabbit Sci.* 8: 277-282.

- Gutiérrez, I.A., J.E. García, R. Carabaño, J.C. De Blas. 2002. Effect of source of starch and protein, heat processing and use of exogenous enzymes in starter diets for early weaned rabbits. *J. Anim. Sci.* 98(3):175-186.
- Halls, A.E. 2008. Caecotrophy in rabbits. *Nutrifax. Nutrition News and Information Updates*, Shur-Gain, Nutreco, Canada Inc., January 2008.
- Halls, A.E. 2010. *Nutritional Requirements for Rabbits*. Shur-Grain Nutreco Canada Inc., Canada, October 2010.
- Hamaker, B.R., A.A. Mohamed, J.E. Habben, C.P. Huang, B.A. Larkins. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chem.* 72: 583-588.
- Harkness, J.E. 1990. Nutrition of the rabbits and rodents. In *Rabbits and rodents laboratory animal science*, University of Sydney Proceedings 142. Sydney, NSW: University of Sydney. Pp. 99.
- Harkness, J.E., J.E. Wagner. 1995. *Biology and husbandry- the rabbit. The biology and medicine of rabbits and rodents (4<sup>th</sup> Ed.)*. Baltimore: William y Wilkins. Pp. 13.
- Hawkes, R., E. Niday, J. Gordon. 1982. A dot-immunobinding assay for monoclonal and other antibodies. *Anal Biochem.* 119:142-147.
- Heneidi, Z.A., S.C. Zepeda, P.A. Mateos, G. Velázquez. 1997. Modelo de evaluación de riesgo de introducción de la enfermedad hemorrágica viral del conejo basado en la experiencia de México. *Cuajimalpa, México. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 16(1), 91-103.
- Hernández, P., Z.A. Dalle. 2010. Influence of diet on rabbit meat quality. *Nutrition of the rabbit*. Editado por C. de Blas, Universidad Politécnica, Madrid. ISBN-13: 978 1 84593 669 3.
- Hoffman, R. y A. Smith. 2005. Order Lagomorpha. In: D. E. Wilson y D. A. Reeder (eds.), *Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference*. Baltimore, John Hopkins University Press.
- INRA. Institute de la Recherche Agronomique. 1984. L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, Lapin, Volailles. In: *Institute de la Recherche Agronomique (Blum J. C. Ed.)*. Paris, France.
- Ito, Z. 1990. Motilide as motilin receptor agonist: a new class of prokinetic agents originating from the macrolides. *Regul. Pept. Lett.* 1990; 2(4):12-5.
- Jandete, D.G.H., G.M.C. Vázquez, C.M.A. Martínez. 2013. *Manual de Prácticas de Medicina y Zootecnia Cunícola I*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México.
- Jenkins, J.R. 2000. Rabbit and ferret liver and gastrointestinal testing. In: A. M. Funde (ed.), *Laboratory medicine: Avian and exotic pets*. Philadelphia: WB Saunders. pp. 291.
- Jilge, B. 1982. Monophasic and disphasic patterns of the circadian caecotrophy rhythm of rabbits. *Laboratory Animals* 16, 1.

- Koziol, K., D. Maj, J. Bieniek. 2015. Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process. *Med. Weter.* 2015. 71(2), 104-108.
- Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the heat of bacteriophage T4. *Nature.* 227:680-685.
- Lang, J. 1981. The nutrition of the Commercial Rabbit. 1. Physiology, digestibility and nutrient requirements. *Nutrition Abstracts and Reviews.* 51:197-225.
- Larzul, C., F. Gondret, S. Combes, H. Rochambeau. 2004. Divergent selection on 63-day weight in the rabbit: response on growth, carcass and muscle traits. *Genet. Sel. Evol.* 37 (2005) 105-122.
- Le Gall, M., L. Quillien, J. Guéguen, H. Rogniaux, B. Sève. 2005. Identification of dietary and endogenous ileal protein losses in pigs by immunoblotting and mass spectrometry. *J Nutr.* 135:1215-1222.
- Lebas, F. 2007. Productivité des élevages cynicoles professionnels en 2006. Résultats de RENELAP et RENACEB. *Cuniculture Magazine* 34: 31-39.
- Lebas, F. 2013. La biologie du lapin. 4-appareil digestif et digestion. Disponible en: <http://www.cuniculture.info/Docs/Biologie/biologie-04.htm>
- Lebas, F., J.P. Laplace. 1974. Note sur l'excretion fécale chez le lapin. *Annales de Zootechnie* 23, 577-581.
- Lebas, F., J.P. Laplace. 1975. Le transit digestif chez le lapin. 5. Evolution de l'excretion fécale en fonction de l'heure de distribution de l'aliment et du niveau de rationnement durant les 5 jours qui suivent l'application de ce denier. *Annales de Zootechnie* 24, 613-627.
- Lebas, F., M. Gacem, M. Adaouri, A. Bouguira, N. Zerrouki, H. Boudina, H. Tazka. 2012. Value of wheat straw and alfalfa hay as fiber source for fattening rabbits in Algeria. XX World Rabbit Congress, September 2012, Sharm El-Sheikh, Egypt, 575-579.
- Lebas, F., P. Coudert, H. de Rochambeau, R.G. Thébault. 1996. El Conejo: Cría y patología. Colección FAO: Producción y sanidad animal. ISSN: 1014-6423.
- Lebas, F., P. Coudert, H. Rochambeau, R.G. Thébault. 1996. El Conejo Cría y Patología, Alimentación y nutrición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. ISBN: 92-5-303441-6.
- Lebas, F., P. Coudert, H. Rochambeau, R.G. Thébault. 1997. The Rabbit: Husbandry, health and production. FAO Animal Production and Health Series No. 21. ISSN 1010-9021.
- López-Martínez, N. 1989. Revisión sistemática y biostratigráfica de los Lagomorpha (*Mammalia*) del Terciario y Cuaternario de España. Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza.
- Lorenzo, C. y M. Ruiz. 2013. Conociendo y conservando a los lagomorfos mexicanos. *Ecofronteras*, Revista cuatrimestral de divulgación de la ciencia, Núm. 47. 22p.

- MacLean, W.C., G. López de Romaña, R.P. Placko, G.G. Graham. 1981. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children: Balance studies and plasma free amino acids. *J. Nutr.* 111:1928-1936.
- Maertens, L. 1992. Rabbit nutrition and feeding: a review of some recent developments. *Journal of Applied Rabbit Research* 15, 889-913.
- Malavé, A., R.L. Córdova, R.A. García, N. Méndez. 2013. Composición bromatológica de la carne de conejos suplementados con matarató y cachaza de palma aceitera. *Rev. MVZ Córdoba* 18(2):3452-3458.
- Marguenda, I., R. Carabaño, P. García-Rebollar, C. De Blas, A.I. García-Ruiz. 2006. *Actas del 3er Congreso de Cunicultura de las Américas*. Maringá, Brasil.
- Mariscal-Landín, G., J.H. Avellaneda, T.C. Reis-de-Souza, A. Aguilera-Barreyro y G.A. Borbolla. 2004. Effect of tannins in sorghum on amino acid ileal digestibility and on trypsin (E.C.2.4.21.4) and chymotrypsin (E.C.2.4.21.1) activity of growing pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 117:245-264.
- Marounek, M., S.J.V. Skramová. 1995. Distribution of activity of hydrolytic enzymes in the digestive tract of rabbits. *Brit. J. Nutr.* 73: 463-469.
- Martínez, M., V.J. Moya, E. Blas, C. Cervera. 2008. Empleo de mazorca de maíz en dietas de conejos: valor nutritivo y efecto sobre la engorda. *Agrociencia* 42: 151-156, 2008.
- Martínez, M.A. 2004. *Cunicultura, Segunda edición*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Medina, M.D., C.O. Fuentes. 2018. Capacidad de inhibición bacteriana *in vitro* del extracto acuoso de ajo (*Allium sativum*) sobre la microbiota bucal, cecal y rectal del conejo. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mehrez, A.Z., M.A. El-Harairy, W.A. Khalil, M.A. Shetefa, M.M. Salama. 2015. Cheese whey as a natural source of peroxidase to ameliorate the negative effects of phenolic compounds of feed ingredients and the gossypol of cottonseeds in rabbits diets. *J. Anim. And Pultry Prod., Mansoura Univ.*, Vol. 6 (5): 275-285, 2015.
- Merino, J.M. 1994. Puesta a punto de una técnica de canulación ileal en el conejo para el estudio del aprovechamiento de los nutrientes de la dieta. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Moa, F. X., J. Gifra. 2009. ¿Qué se habló de Calidad y Seguridad alimentaria en el 9th World Rabbit Congress? *Cunicultura, carne*.
- Molina, E., P.R. González, R.R. Moreno, K.Q. Montero, A.U. Sánchez. 2017. Effect of the inclusión of *Amaranthus dubius* in diets on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. ISSN: 0971-2119 y 0974-1844.
- Monteils, V., L. Cauquil, S. Combes, J.J. Godon, T. Gidenne. 2008. Potencial core species and satellite species in the bacterial community within the rabbit caecum. *FEMS Microbiol Ecol.* 66 (2008) 620-629.

- Morisse, J.P., R. Maurice. 1997. Influence of stocking density or group size on behaviour of fattening rabbits kept under intensive conditions. *Appl Anim Behav. Sci.* 54: 351-357.
- Muñoz, M.E., J. González, A. Esteller. 1986. Bile pigment formation and excretion in the rabbit. *Comp. Biochem. Physiol.* 1986; 85 A: 67-71.
- Muriu, J.I., E.N. Njoka-Njiru, J.K. Tuitoek, J.N. Nanua. 2001. Evaluation of Sorghum (*Sorghum bicolor*) as Replacent for Maize in the Diet of Growing Rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). Dept. of Animal Science, Egerton University, P.O. Box 536, Njoro, Kenya.
- Muriu, J.I., E.N. Njoka-Njiru, J.K. Tuitoek, J.N. Nanua. 2001. Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) as replacent for maize in the diet of growing rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). Egerton University, Njoro, Kenya.
- Musco, N., P. Lombardi, N.F. Addeo, G. Secci, G. Parisi, M.E. Pero, G. Piccolo, A. Nizza, F. Bovera. 2019. Mirrors can affect growth rate, blood profile, carcass and meat quality traits and caecal microbial activity of rabbits reared in a “small group” free-range system. *Animals* 2019, 9, 639.
- Nava, V. I., M. M. Zamora. 2010. Evaluación de los estimadores de productividad de tres razas de conejos en el centro de cunicultura de Irapuato, Guanajuato, durante el año 2008. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Newkirk, Rex. 2009. Pasta de canola; Guía para la industria de forrajes. Canadian International Grains Institute.
- Nicodemus, N., J. García, R. Carabaño, J.C. De Blas. 2006. Effect of a reduction of dietary particle size by substituting a mixture of fibrous by-products for Lucerne hay on performance and digestion of growing rabbits and lactating does. *Livest. Sci.* 100, 242-250.
- Nicodemus, N., J. García, R. Carabaño, J.C. De Blas. 2006. Effect of a reduction of dietary particle size by substituting a mixture of fibrous by-products for Lucerne hay on performance and digestion of growing rabbits and lactating does. *Livestock Science* 100 (2006) 242-250.
- Nicodemus, N., J. Mateos, J.C. De Blas, R. Carabaño, M. J. Fraga. 1999. Effect of diet on amino acid composition of milk and soft faeces and th contribution of soft faeces to total amino acid intake through caecotrophy in lactating doe rabbits. *Anim. Sci.* 69: 167-170.
- Nicodemus, N., L. Pérez-Alba, R. Carabaño, J.C. De Blas, I. Badiola, A. Pérez De Rozas, J. García. 2004. Effect of leve lof fibre and level of ground of fibre sources on digestion and ileal and caecal characterization of microbiota of early weaned rabbits. In: 8<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Puebla, México. pp. 143 (Abstr).
- Nicodemus, N., L. Pérez-Alba, R. Carabaño, R. De Blas, I. Badiola, A. Pérez de Rozas, J. García. 2004. En: 8th World Rabbit Congress. Puebla, México. CHECAR
- Nicodemus, N., R. Carabaño, J. García, J. Méndez and J.C. De Blas. 1999. Performance response of lacting and growing rabbits to dietary lignin content. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80, 43-54.

- Nicodemus, N., R. Carabaño, J. García, J. Méndez, J.C. De Blas. 1999. Anim Feed Sci. Technol. 80:43-54. CHECAR
- NRC. National Research Council. 1977. Nutrient requirements of rabbits. National Academy of Science. Washington DC, USA.
- Núñez-Torres, O.P. 2017. Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. J. Selva Andina Anim. Sci. v.4 n.2 La Paz. ISSN: 2311-2581.
- O'Malley, B. 2007. Anatomía y fisiología clínica de animales exóticos (1ra Ed.). Zaragoza, España. ISBN: 978-84-93597-1-5.
- Oliva, E. 2018. Indicadores de Cunicultura. Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales. Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación, Argentina.
- Ouhayoun, J., D. Delmas, B. Poujardieu. 1983. Variability in the myoglobine content of rabbit muscle. Relationships with energy metabolism. In: 2<sup>nd</sup> International Colloquy "The rabbit as a model animal and breeding object", Rostock, Allemagne, pp. 15.
- Pacheco, D.R. 1998. Caracterización agronómica de dieciséis maicillos mejorados (*Sorghum bicolor* L. Moench) en diferentes localidades. Tesis para el título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras.
- Palazzo, M., F. Vizzarri, M. Nardoia, S. Ratti, G. Pastorelli, D. Casamassima. 2015. Dietary *Lippia citriodora* extract in rabbit feeding: effects on quality carcass and meat. Arch. Anim. Breed., 58, 355-364, 2015.
- Palma, O.R., E.A. Hurtado. 2010. Comportamiento productivo de conejos durante el periodo de crecimiento-engorde alimentados con frutos de mango (*Mangifera indica*) en sustitución parcial del alimento balanceado comercial. Vol. 28, N° 1. IDESIA (Chile) enero-abril. pp. 33.
- Peiretti, P.G. 2012. Effects of dietary fatty acids on lipid traits in the muscle and perirenal fat of growing rabbits fed mixed diets. Animals, 2, 55-67.
- Pérez de Rosas, A.M. 2014. Tesis doctoral: Utilización de cepas de *Bacteroides spp.* Como probiótico en conejos. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 2014.
- Pérez, J.M., T. Gidenne, F. Lebas, Y. Caudron, P. Arveux, A. Bourdillon, J. Duperray and B. Messager. 1994. Apports de lignines et alimentation du lapin en croissance. 2. Consequences sur les performances et la mortalité. Ann Zootech. 43, 323-332.
- Pérez-de-Rozas, R.G.A.M. 2014. Utilización de cepas de *Bacteroides spp.* Como probiótico en conejos. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Pickard, D.W., C.E. Stevens. 1972. Digesta flow through the rabbit large intestine. American Journal of Physiology 222, 1161.
- Piestch, Manfred. 2014. Fibra cruda insoluble: un nuevo enfoque para la salud y desempeño. División Nutrición Animal J. Rettenmaier & Söhne GmbH, Alemania.
- Pinheiro, V., T. Gidenne. 1999. Impact of a dietary fibre deficiency on the zootechnical performances of the growing rabbit and on the caecal development and starch ileal content. 8èmes J. Rech Cunicoles Fr., juin, Paris, pp. 105-108.

- Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. 1 ed. D. R. 2017 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Ciudad de México, México.
- Pogány, S.M., L. Chrastinová, J. Mojto, A. Lauková, R. Szabóová, J. Rafay. 2010. Quality of rabbit meat and phyto-additives. *Czech J. Food Sci.* Vol 28, 2010, No. 3:161-167.
- Pontieri, P., G. Mamone, S. De Caro, M.R. Tuinstra, E. Roemer, J. Okot, P. De Vita, D.B. Ficco, P. Alifano, D. Pignone, D.R. Massardo, L. Del Giudice. 2013. Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses. *J. Agric Food Chem.* 61:2565-2751.
- Portsmouth, J.I. 1977. The nutrition of rabbits. *Nutrition and the Climatic Environment*. Ed. Butterworths, London. pp. 93.
- Ramírez, J., N. González, A. Gardner y J. Arroyo. 2014. List of recent land mammals of México, 2014, Special Publications, Museum of Texas Tech University 63:1-69. ISSN 0149-1768.
- Ramírez, J.A.T. 2004. Tesis doctoral: Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Barcelona, España.
- Rasinska, E., E. Czarniecka, J. Rutkowska. 2018. Fatty acid and lipid contents differentiation in cuts of rabbit meat. *Jornual of Food* 16:1, 807-813.
- Rasinska, E., E. Czarniecka-Skubina, J. Rutkwska. 2018. Fatty acid and lipid contents differentiation in cuts of rabbit meat. *CyTA- Journal of Food*, 16:1,807-813. ISSN: 1947-6345.
- Rebollar, P.G., A. Milanés, N. Pereda, P. Millán, P. Cano, A.I. Esquifino, M. Villarroel, G. Silván, P.L. Lorenzo. 2006. Oestrus synchronisation of rabbit does at early post-partum by doe-litter separation or eCG injection: Reproductive parameters and endocrine profiles. *Anim Reprod Sci.* 93: 218-230.
- Rees Davies, R., Rees Davies, A.E.J. 2003. Rabbit gastrointestinal physiology. *Vet Clin Exot Anim* 6 (2009) 139-153.
- Rodríguez-Palenzuela, J. García, C. De Blas. 1998. Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: enzimas y probióticos. XIV Curso de Especialización. Avances en nutrición y alimento animal.
- Romero, C. 2008. La importancia de la cecotrofia en el conejo. *Boletín de Cunicultura* Mar-Abr. 2008, Madrid, España. N° 156.
- Rowen, D.F., W.L. Wilke, F.A. Dee. 2009. *Anatomy and Physiology of Farm Animals*. John Wiley & Sons. Pp. 337. ISBN: 0813813948, 9780813813943.
- Ruckebush, Y., H. Hörnicke. 1977. Motility of the rabbit's colon and caecotrophy. *Physiology and behavior* 18, 871-878.
- Ruiz A.M. 1990. Mejora genética del conejo de producción de carne. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Ruiz, L.C.G. 1993. Aparición de la enfermedad vírica hemorrágica en México y su erradicación (EHVC). Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México.
- Sandford, J.C. 1992. Apuntes sobre la historia del conejo. V Congreso Mundial de Cunicultura, 1994. Oregón.
- SAS, Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. SAS. 2008.
- Scapinello, C. 2014. Reproducción: Aspectos Fisiológicos y de Manejo en la Cunicultura. Tecnología de producción de conejos para carne. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay. ISSN: 1688-9266.
- Schönfeldt, H.C., N. Gibson. 2008. Changes in the nutrient quality of meat in an obesity context. *Meat Science* 80 (2008) 20-27.
- Segura, S.F., F.R. Echeverri, L.A.C. Patiño, G.A.I. Mejía. 2007. Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. Medellín, Colombia. VITAE, revista de la Facultad de Química Farmacéutica. Volumen 14 número 1. pp. 72-81.
- Shewry, P.R., N.G. Halford. 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *J. Exp. Bot.* 53: 947-958.
- Simitzis, P.E., C. Babaliaris, M.A. Charismiadou, G. Papadomichelakis, M. Goliomytis, G.K. Symeon, S.G. Deligeorgis. 2014. Effect of hesperidin dietary supplementation on growth performance, carcass traits and meat quality of rabbits. *World Rabbit Sci.* 2014, 22:113-121.
- Sistema productivo cunícola del Distrito Federal 2012. 2012. Plan Rector Sistema Producto Cunícola del Distrito Federal, México.
- Spreadbury, D. 1978. A study of the protein and aminoacid requirements of the growing New Zealand white rabbit, with emphasis on lysine and the Sulphur containing amino acids. *Br. J. Nutr.* 39: 601-603.
- Srinivasa, R.P., K.F. Ganesh. 2013. Characterization of improved sweet sorghum cultivars. *Springer briefs in agriculture*. Srinivasa R.P., K.C. Ganesh (ed.) Springer. pp. 127.
- Steel, R.G.D., J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2 ed. New York. McGraw-Hill.
- Sternstein, I., M. Reissmann, D. Maj, J. Bieniek, G.A. Brockmann. 2015. A comprehensive linkage map and QTL map for carcass traits in a cross between Giant Grey and New Zealand White rabbits. *BMC Genetics* (2015) 16:16.
- Stills, H.F. 2012. Polyclonal antibody production. In: Suckhow, M.A., K.A. Stevens, R.P. Wilson (eds.). *The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster and Other Rodents*. Elsevier Inc, Oxford. pp. 259-274.



- Valero, G.T., A.P. Rodríguez, M.E. Ruiz, T.J. Ávila, M.G. Varela. 2018. Carnes y productos cárnicos, Conejo. La Alimentación Española, Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta. 2ª Edición. ISBN: 978-84-491-1506-6.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Vannalli, S., B. Kasturiba, R.K.N. Yenagi. 2008. Nutritive value and quality characteristics of sorghum genotypes. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20: 586-588.
- Velasco-Galíea, M., M. Piles, M. Viñas, R. Oriol, O. González-Rodríguez, M. Guivernau, J. P. Sánchez. 2018. Rabbit microbiota changes throughout the intestinal tract. *Front. Microbiol.* 9:2144.
- Vigneron, P., F. Bacou, C.R. Ashmore. 1976. Distribution heterogeneity of muscles fibre types in the rabbit *Longissimus muscle*. *J. Anim. Sci.* 43, 985-988.
- Villamide, M.J., N. Nicodemus, M.J. Fraga, R. Crabaño. 2010. Protein Digestion. In: *Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., J. Wiseman. Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. pp 39.
- Vostrý, L., I. Majzlík, K. Mach, B. Hofmanová, K. Janda, L. Andrejsová. 2011. Growth performance of rabbit broilers HYLA. 62<sup>nd</sup> Annual Meeting EAAP 2011. Stavanger, Norway.
- Wall, J.S, C.W. Blessin. 1969. Composition and structure of sorghum grains. *Cereal Sci. Today.* 6 (8): 264.270.
- Wang, J., M.A. Elzo, X. Jia, S. Chen, S. Lai. 2017. Calpastatin gene polymorphism is associated with rabbit meat quality traits. *Animal Research*, 45:1, 342-345.
- Wang, J., Y. Su, M.A. Elzo, X. Jia, S. Chen, S. Lai. 2016. Comparison of carcass and meat quality traits among three rabbit breeds. *Korean J. Food Sci. An* Vol. 36, No. 1 pp. 84. ISSN: 1225-8563.
- Wester-meier, R. 2011. Electrophoresis in gel, Jason J.C., editor. Protein purification principles, high resolution methods, and application. 3th edition. Hoboken, New Jersey, USA.
- Wong, J.D., T. Lau, N. Cai, J. Singh, J.F. Pedersen, W.H. Vensel, W.J. Hurkman, J.D. Wilson, P.G. Lemaux and B.B. Buchanan. 2009. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *J. Cereal Sci.* 49:73-82.
- Wong, J.H., D.B. Marx, J.D. Wilson, B.B. Buchanan, P.G. Lemaux, J.F. Pedersen. 2010. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. *Plant Science.* 179: 598-611.
- Wood, J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, P.R. Sheard, R.I. Richardson, S.I. Hughes, F.M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78: 343-358.

- Xiccato G., A. Trocino. 2010. Energy and protein metabolism and requirements. In: Nutrition of the Rabbit (De Blas C., J. Wiseman. Eds.), CABI Publishing, Wallingford, UK. pp 83.
- Xiccato, G. 1998. Effect of feeding on meat quality in rabbits. Proc. VIII Jornada de Cunicultura, Barcelona (Expoaviga), Oct. 29: 25-39.
- Xiccato, G., A. Trocino. 2007. Italia, un sistema de producción cunícola integrada. II Congreso Ibérico de Cunicultura. Asociación Española de Cunicultura.
- Xiccato, G., M. Verga, A. Trocino, V. Ferrante, P.I. Queaque, A. Sartori. 1999. Influence de l'effectif et de la densité par gage sur les performances productives, la qualité bouchère et le comportement chez le lapin. Proc. 8èmes Journées de la Recherche Cunicole, 9-10 June, Paris, France. pp. 59.
- Yalcin, S., E.E. Onbasilar, I. Onbasilar. 2006. Effect of sex on carcass meat characteristics of New Zealand White rabbits age 11 weeks. Asian-Aust. J. Anim. Sci. Vol. 19, No. 8: 1212-1216.
- Zotte, A.D., M. Cullere, H. Rémignon, L. Alberghini, G. Paci. 2016. Meat physical quality and muscle fibre properties of rabbit meat as affected by the sire breed, season, parity order and gender in an organic production system. World Rabbit Sci. 2016., 24: 145-154.