


Suplementación con harina de *Agave fourcroydes* en el crecimiento, características de la canal, peso de los órganos, morfometría intestinal y bioquímica sanguínea en conejos de engorda



Yordan Martínez ^{a*}

Maidelys Iser ^b

Manuel Valdivié ^c

Jorge Galindo ^d

David Sánchez ^d

^a Universidad de Zamorano. Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Valle de Yeguaré, San Antonio de Oriente 96, Honduras.

^b Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Granma, Cuba.

^c Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio. La Habana, Cuba.

^d Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Departamento de Producción Animal. Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: ymartinez@zamorano.edu

Resumen:

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación dietética con polvo de *Agave fourcroydes* en el desempeño del crecimiento, las características de la canal, el peso de los órganos, la morfometría intestinal y la bioquímica sanguínea en conejos de engorda. Un total de 40 conejos machos (Nueza Zelanda × californianos) destetados a los 35 días fueron seleccionados aleatoriamente para una dieta de control (DC) y DC + 1.5 % de polvo de *A. fourcroydes*, con 10 réplicas y dos conejos por réplica. Después de 60 días, el polvo de *A. fourcroydes* aumentó el peso corporal, la ingesta de alimento y la ganancia de peso ($P < 0.05$), sin afectar la relación de conversión alimenticia y la viabilidad

($P>0.05$). Además, este producto natural no afectó las porciones comestibles y los indicadores determinados en el *Longissimus dorsi*, ni los pesos relativos de los órganos y la morfometría intestinal ($P>0.05$); sin embargo, se observó una disminución del pH cecal y, en consecuencia, se encontró un aumento de las bacterias beneficiosas cecales ($P<0.05$). Asimismo, el polvo de *A. fourcroydes* redujo ($P<0.05$) la concentración sérica de glucosa, lípidos dañinos, LAD e índice aterogénico, aunque sin cambios para el nitrógeno ureico, creatinina y LMBD ($P>0.05$). El polvo de *Agave fourcroydes* como aditivo zootécnico promovió un mejor crecimiento, además, mostró efectos hipolipemiantes e hipoglucémicos, sin modificar las porciones comestibles y los órganos digestivos.

Palabras clave: *Agave fourcroydes*, Aditivo zootécnico, Conejo; Promotor natural de crecimiento, Efecto hipoglucémico, Efecto hipolipemiante.

Recibido: 08/12/2020

Aceptado: 08/02/2021

Introducción

La producción moderna de conejos se caracteriza por una alta intensidad productiva, en la que los animales están sujetos a diferentes situaciones de estrés. Estos, a su vez, causan en algunos casos desequilibrios en la microbiota intestinal, con el desarrollo de microorganismos patógenos, inmunosupresión, conversión alimenticia ineficiente, alta mortalidad y disminución de la respuesta zootécnica⁽¹⁾. Por las razones anteriores, a lo largo de las décadas, los antibióticos se han utilizado como aditivos que promueven el crecimiento animal. Sin embargo, como consecuencia de problemas de seguridad alimentaria, especialmente debido al uso indiscriminado de antibióticos preventivos, se han identificado alternativas dietéticas efectivas, con resultados aceptables en el desempeño del crecimiento y porciones comestibles de animales no rumiantes⁽²⁾.

La comunidad científica y la industria del sector ganadero estudian e introducen nuevos aditivos seguros e inocuos para mejorar los indicadores sanitarios y productivos de los animales, como los ácidos orgánicos, prebióticos, probióticos, fitobióticos, enzimas, o su combinación^(3,4). Actualmente, estos productos naturales tienen diversas características benéficas como hipocolesterolémico, hipoglucémico, antiinflamatorio, antioxidantes, moduladores de inmunidad, morfología, pH y microbiología intestinal⁽⁴⁾, por lo que su

uso constante en pequeñas concentraciones en las dietas podría contribuir a maximizar la expresión genética de los animales, y a su vez, el desempeño del crecimiento de los animales de granja⁽⁵⁾.

El género *Agave*, parte de la familia *Agavaceae*, es nativo de México. Se sabe que el tallo de *Agave fourcroydes* es alto en oligosacáridos (fructanos) y metabolitos secundarios antiinflamatorios y bactericidas benéficos como saponinas, flavonoides, antocianinas, cumarinas, azúcares reductores y taninos⁽⁶⁾. En este sentido, Iser *et al*⁽⁷⁾ informaron que el uso de polvo de *Agave fourcroydes*, como suplemento dietético en conejos, promovió la ganancia de peso corporal debido a una mayor ingesta de alimento y una mejor salud intestinal, lo que aumentó la altura de las vellosidades en el intestino delgado y la concentración de IgG, con una disminución en la profundidad de las criptas y sin cambios en los parámetros hematológicos.

A pesar de los beneficios prebióticos de *Agave* spp., según lo conocido al momento, no se encontraron estudios que demostraran su efecto sobre las porciones comestibles, la composición química del músculo *Longissimus dorsi*, el perfil metabólico sérico, las bacterias ácido-lácticas cecales y el peso relativo de los órganos inmunes y viscerales en conejos. Para este estudio, se planteó la hipótesis de que la suplementación dietética con *Agave fourcroydes* rico en fructanos podría promover el crecimiento de bacterias ácido-lácticas cecales y, por lo tanto, modificar las porciones comestibles y disminuir los lípidos dañinos de los conejos en crecimiento. Por lo tanto, el objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de la suplementación dietética con polvo de *A. fourcroydes* en el desempeño del crecimiento, las características de la canal, el peso de los órganos, la morfometría intestinal y la bioquímica sanguínea en conejos de engorda.

Material y métodos

Animales, tratamiento y alojamiento

Este estudio se realizó de acuerdo con los lineamientos mexicanos para el bienestar animal y el protocolo experimental, el cual es aprobado por el Comité de Cuidado Animal (Documento CINV.106/12). El experimento se llevó a cabo en el área experimental “Cofradía” del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México. La temperatura se mantuvo en 21 °C (± 2), y la humedad relativa se mantuvo entre el 63 % (± 2).

Un total de 40 conejos machos (Nueva Zelanda ×californianos) destetados a los 35 d con un PC inicial de 768 ± 2 g fueron seleccionados al azar para dos tratamientos dietéticos, con 10 réplicas y dos conejos por réplica. Para el tamaño de la muestra experimental, se consideraron las recomendaciones de García *et al*⁽⁸⁾. Los tratamientos dietéticos consistieron en una dieta testigo (DT) y DT+1.5 % de polvo de tallo seco de *A. fourcroydes*. Para el nivel de suplementación de *Agave fourcroydes* de la dieta, se consideraron las recomendaciones de Iser *et al*⁽⁷⁾. La dieta de testigo se preparó de acuerdo con los requisitos nutricionales de los conejos de engorda⁽⁹⁾. Se utilizó la misma dieta de un trabajo anterior⁽⁷⁾, que cumplía con los requerimientos nutricionales de los conejos de 35 a 95 días. La harina de tallo seco de *Agave tequilana* fue proporcionada por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

Los conejos se colocaron en jaulas metálicas de 76 x 76 x 45 cm de largo, ancho y alto, respectivamente. El alimento y el agua en comederos tubulares y bebederos de boquilla automáticos, respectivamente, estuvieron disponibles libremente durante todo el período experimental.

Desempeño del crecimiento

Durante la fase experimental, el peso corporal inicial y final (35 y 95 días de edad) de los conejos se midió individualmente, siempre al mismo tiempo y antes de alimentarlos. Para ello, se utilizó una báscula digital de la marca OSBORNE® (Kansas, EE. UU.), modelo 37473®, con una precisión de ± 0.1 g. La viabilidad se calculó mediante el número de conejos durante la etapa experimental entre los alojados al comienzo del experimento. La ingesta media de alimento (IA) se determinó diariamente por el método de ofrecimiento y rechazo. La ganancia diaria promedio (GDP) se determinó considerando el peso corporal final e inicial y el número de días experimentales. La relación de conversión alimenticia (RCA) se calculó como la cantidad de alimento consumido, para una ganancia de 1 kg de peso corporal.

Características de la canal

Se sacrificaron diez (10) conejos por tratamiento a los 95 días de edad, por el método de sangrado de la vena yugular, en el matadero experimental de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Antes del sacrificio, los animales se mantuvieron en ayunas durante 12 h, solo con agua *ad libitum*⁽¹⁰⁾. Para la caracterización de la canal y la evaluación de sus propiedades, se procedió a la disección de las canales en las patas

delanteras, patas traseras, lomo y pared abdominal y costillas⁽¹¹⁾. Las porciones comestibles se pesaron en una báscula digital OSBORNE® (Kansas, EE. UU.), modelo 37473®, con una precisión de ± 0.1 g y el peso relativo se calculó de acuerdo con el peso de la canal. Además, el músculo *Longissimus dorsi* (LD, a nivel de la quinta vértebra lumbar) se tomó de cada animal sacrificado y se mantuvo a -20 °C para análisis futuros.

Ph, tonos de color, composición química y calidad sensorial del músculo *Longissimus dorsi*

Después de 24 h de sacrificio, las muestras enfriadas (10 conejos por tratamiento) alcanzaron la temperatura ambiente (23 °C) y el pH se determinó mediante un potenciómetro digital Bantex modelo 300 A calibrado con soluciones tampón de pH 7 y 10. Además, los tonos de color del músculo *Longissimus dorsi*, como los valores de L^* (luminosidad), a^* (enrojecimiento) y b^* (amarillez), se midieron utilizando un cromómetro Minolta CR-400/410 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka Japón). Además, en las muestras se determinó la materia seca (MS), grasa cruda (GC), cenizas y proteína cruda (PCr), de acuerdo con la metodología descrita por la AOAC⁽¹²⁾.

La calidad sensorial fue evaluada por un panel de 16 catadores entrenados que consumen carne de conejo diariamente, en excelente salud y entre las edades de 20 y 55 años. Los catadores fueron seleccionados del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Las muestras (50 g) se cocinaron sin sal ni especias a una temperatura de 70 °C durante 1 h⁽¹³⁾. Los criterios para la evaluación fueron: aroma (normal y anormal), jugosidad (normal y anormal), terneza (normal, dura, muy dura y muy suave) y color (normal, pálido e intenso).

Peso relativo de los órganos, morfometría y pH intestinal

Durante el sacrificio de los conejos (a los 95 días de edad), se extrajeron y pesaron las vísceras (hígado y corazón), el bazo como órgano inmune y el estómago. Además, se pesó y se midió el intestino delgado, el intestino grueso y el ciego utilizando una báscula digital OSBORNE® (Kansas, EE. UU.), modelo 37473®, con una precisión de ± 0.1 g y una cinta métrica, respectivamente. El peso relativo de los órganos se calculó de acuerdo con el peso corporal al sacrificio. En el momento del sacrificio, varias porciones de estómago, intestino delgado, colon y ciego se cortaron y homogeneizaron en forma de pasta en un mortero de porcelana. Se pesaron 2 g de muestra en un vidrio de reloj; se añadieron 10 ml de agua destilada y se homogeneizaron en un vórtice durante 2 min. El pH fue

determinado por un potenciómetro digital Bantex modelo 300 A (EE. UU.) calibrado con soluciones tampón de pH 7 y 10.

Recuento total de bacterias mesófilas viables y ácido cecal-ácido láctico

El saco de ciego de cada animal se tomó por tratamiento (10 animales por tratamiento). Luego, cada muestra (1 g) se colocó en un tubo que contenía 9 ml de agua peptonada estéril (Cultimed Parnreac-Química-SAU), se homogeneizó en agua destilada en una proporción de 1/10 (p/v) y se realizaron diluciones en serie (1/10) hasta la dilución 10^{12} . De cada dilución, se tomó 1 ml y se sembró profundamente en placas con agar MRS (Difco Laboratories, Detroit, Michigan) y pH de 6.2 a 37°C durante 48 h en anaerobiosis (Gas Pak system, BBL, Cockeysville, EE. UU.). Posteriormente, para determinar las bacterias ácido-lácticas, se realizó un conteo visual con un contador de colonias (XK97A, China).

Bioquímica sanguínea

De los conejos sacrificados para cada tratamiento (10 conejos por tratamiento), se tomaron 10 ml de sangre. Para obtener el suero sanguíneo, las muestras se dejaron reposar durante una hora en viales de 20 ml, luego se centrifugaron (centrifugadora Eppendorf) a 10,000 rpm y 20°C durante 25 min. En el suero sanguíneo, la glucosa, la creatinina, el nitrógeno ureico, los lípidos totales, los triglicéridos, el colesterol total, el LAD, el LBD y el LMBD se determinaron por métodos colorimétricos, utilizando un espectrofotómetro ultravioleta de la marca Humalyzer y kits enzimáticos. El índice aterogénico se determinó según la fórmula de Dobiášová *et al*⁽¹⁴⁾.

Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm EEM. El análisis estadístico se realizó mediante prueba t no apareada de acuerdo con un diseño completamente al azar, utilizando SPSS 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Se tomaron valores de $P < 0.05$ para indicar la significancia.

Resultados

El Cuadro 1 muestra el efecto de la suplementación dietética con harina de *A. fourcroydes* en el desempeño del crecimiento de los conejos de engorda. La viabilidad fue excelente para ambos tratamientos (100 %), además, el tratamiento experimental aumentó el PC final, GDP y IDPA cuando se comparó con la dieta testigo, aunque la RCA no se vio afectada por el efecto de los tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 1: Efectos de la suplementación con harina de tallo seco de *A. fourcroydes* en el desempeño del crecimiento de conejos de engorda a los 95 días de edad

Ítems (n=40 conejos)	Tratamientos		EEM \pm	Valor <i>P</i>
	Testigo	Harina de <i>A. fourcroydes</i>		
PC final, g	2,395.69	2,468.13	13.025	<0.001
IDPA, g/d	121.42	123.40	0.425	0.031
GDP, g/d	27.12	28.33	0.229	0.022
RCA	4.48	4.36	0.031	0.323
Viabilidad, %	100	100		

EEM= error estándar de la media; PC= peso corporal, IDPA= ingesta diaria promedio de alimento, GDP= ganancia diaria promedio, RCA= relación de conversión alimenticia.

El Cuadro 2 muestra que la suplementación dietética con polvo de *Agave fourcroydes* no tuvo un efecto significativo ($P>0.05$) en los rendimientos de las porciones comestibles y la composición química, la colorimetría, el pH y la calidad sensorial del músculo *Longissimus dorsi* en conejos de engorda.

Cuadro 2: Efecto de la suplementación con harina de tallo seco de *Agave fourcroydes* en las características de la canal de conejos de engorda a los 95 días de edad

Ítems (n=20 conejos)	Tratamientos		EEM ±	Valor P
	Testigo	Harina de A. <i>fourcroydes</i>		
Partes comestibles (%)				
Canal	57.08	56.55	1.073	0.734
Patas delanteras	16.44	15.54	0.753	0.420
Patas traseras	34.13	32.86	1.291	0.505
Costillas	23.11	24.72	1.688	0.519
Composición química (%)				
Materia seca	32.87	33.57	0.492	0.541
Grasa cruda	3.53	3.06	0.283	0.089
Cenizas	0.92	1.33	0.170	0.148
Proteína cruda	23.44	23.22	0.481	0.447
Colorimetría				
<i>L</i> *	52.05	51.18	1.173	0.614
<i>a</i> *	5.61	6.03	0.327	0.517
<i>b</i> *	1.78	1.36	0.189	0.772
pH, 24 h <i>post mortem</i>	5.41	5.38	0.042	0.665
Calidad sensorial				
Aroma	Normal	Normal		
Jugosidad	Normal	Normal		
Terneza	Normal	Normal		
Color	Normal	Normal		

EEM= error estándar de la media; *L**: luminosidad; *a**: enrojecimiento; *b**: amarillez.

Del mismo modo, la suplementación dietética con *A. fourcroydes* no indicó diferencias notables ($P>0.05$) (Cuadro 3) para el peso relativo de los órganos, morfometría intestinal y pH del aparato digestivo, a excepción del pH del ciego, que disminuyó debido al uso de *A. fourcroydes* ($P<0.05$). Además, este producto natural (*A. fourcroydes*) aumentó el recuento de bacterias mesófilas viables y bacterias ácido-lácticas cecales ($P<0.05$).

Cuadro 3: Efecto de la suplementación con harina de tallo seco de *Agave fourcroydes* en el peso de los órganos, la morfometría y el pH intestinal de conejos de engorda a los 95 días de edad

Ítems (n=20 conejos)	Tratamientos		EEM±	Valor P
	Testigo	Harina de A. <i>fourcroydes</i>		
Peso relativo (%)				
Hígado	2.38	2.36	0.137	0.941
Corazón	0.30	0.29	0.019	0.529
Bazo	0.06	0.05	0.011	0.826
Estómago	4.27	3.97	0.404	0.432
Intestino delgado	2.15	2.41	0.189	0.350
Intestino grueso	9.30	8.66	0.803	0.200
Ciego	7.48	7.03	0.785	0.240
Morfometría intestinal (cm)				
Intestino delgado	272.83	268.66	5.625	0.681
Intestino grueso	113.00	110.16	4.225	0.646
Ciego	47.50	47.83	1.267	0.856
<i>pH</i>				
Estómago	5.94	5.54	0.249	0.285
Intestino delgado	6.93	6.90	0.006	0.798
Ciego	6.77	6.44	0.018	0.046
Colon	6.90	6.80	0.113	0.544
Ciego (UFC/ml)				
Bacterias mesófilas viables	10.42	11.6	0.309	0.021
Bacterias ácido-lácticas	6.36	8.05	0.520	0.044

EEM= error estándar de la media.

La suplementación dietética con 1.5 % de *A. fourcroydes* redujo ($P<0.05$) la concentración sérica de glucosa, lípidos totales, colesterol total, triacilglicéridos, LAD y LBD, mientras que la concentración de nitrógeno ureico, creatinina y LMBD no mostró diferencias ($P>0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4: Efecto de la suplementación con harina de tallo seco de *Agave fourcroydes* en la bioquímica sanguínea y el índice aterogénico de conejos de engorda a los 95 días de edad (mg/dl)

Ítems (n=20 conejos)	Tratamientos		EEM±	Valor P
	Testigo	Harina de A. <i>fourcroydes</i>		
Nitrógeno ureico	39.20	37.00	0.906	0.124
Glucosa	129.80	104.20	1.338	<0.001
Creatinina	0.98	0.92	0.150	0.091
Lípidos totales	512.00	494.80	3.077	0.004
Colesterol total	213.60	192.80	2.302	<0.001
Triacilglicéridos	180.20	163.80	2.447	<0.001
LAD	65.44	53.60	1.392	<0.001
LBD	184.60	102.82	2.056	<0.001
LMBD	36.40	35.20	0.739	0.284
Índice aterogénico	2.82	1.93	0.048	<0.001

EEM= error estándar de la media; LAD= lipoproteínas de alta densidad, LBD= lipoproteínas de baja densidad, LMBD= lipoproteínas de muy baja densidad.

Discusión

El uso de nuevos alimentos y aditivos en las dietas de los animales de experimentación provoca cambios en la morfofisiología, la respuesta inmune y la microbiología. Siendo más acentuado en conejos, con característica de un herbívoro no rumiante⁽⁹⁾; es por ello que la viabilidad puede mostrar en primera instancia la efectividad biológica de estos productos. En este sentido, *Agave fourcroydes* como aditivo nutracéutico no causó morbilidad y mortalidad en conejos; resultados similares se encontraron en un experimento previo⁽⁷⁾. Por lo tanto, Ayala *et al*⁽³⁾ y Abd El-Hack *et al*⁽⁵⁾ indicaron que los productos naturales no tienen efectos residuales en los productos animales.

Además, parece que las características organolépticas de la harina de *A. fourcroydes* contribuyeron a un aumento en la ingesta de alimento de 1.98 g/d/conejo en relación con el control. Según Iser *et al*⁽⁶⁾, la harina de *A. fourcroydes* tiene un sabor moderadamente dulce debido a la presencia de fructanos y fructosa, esto podría estimular la ingesta de alimento, sin afectar la relación de conversión alimenticia. Asimismo, Bovera *et al*⁽¹⁵⁾ reportaron una mayor ingesta de alimento en conejos debido al efecto de MOS (manano-oligosacáridos) en comparación con el grupo control.

Además, una mayor ingesta de alimento con un 1.5 % de *A. fourcroydes* podría aumentar el peso corporal en este tratamiento, debido a la presencia de metabolitos secundarios beneficiosos y fructanos en la dieta, lo que modificó la respuesta animal como se observa en el Cuadro 1. Los fructanos que se encuentran en este producto natural (*A. fourcroydes*) aumentan la población de bacterias ácido-lácticas, lo que provoca una exclusión competitiva, con influencias favorables en el peso corporal⁽¹⁾. Por otro lado, la posible acción de los metabolitos secundarios en la microbiota intestinal benéfica de los conejos podría mejorar la absorción de nutrientes, la ganancia de peso y por tanto el peso corporal final⁽⁵⁾. Algunos estudios^(16,17) encontraron una relación positiva entre la incorporación de pequeñas concentraciones de metabolitos secundarios benéficos en las dietas y el peso corporal final.

Actualmente, se toma como referencia el músculo *Longissimus dorsi* (LD) para evaluar la composición y la calidad de la carne⁽¹¹⁾. El *Agave fourcroydes* como aditivo nutracéutico no afectó el contenido de proteínas, grasas y cenizas de la carne de conejo. Dalle-Zotte *et al*⁽¹⁸⁾ indicaron valores de proteína (23 a 23.1 %) similares a los de esta investigación. Los valores de grasa en el músculo LD (3.53 a 3.06 %) están dentro del rango permisible para esta especie, similar al publicado por Carrilho *et al*⁽¹⁹⁾, quienes reportaron niveles de 3.7 a 4.3 %. El valor de pH está directamente relacionado con la maduración y el color de las carnes⁽³⁾. Según Składanowska-Baryza *et al*⁽²⁰⁾, la evolución del pH *post mortem* en la carne afecta a la luminosidad y la terneza. En conejos, los rangos de pH oscilan entre 5.3 y 6.4⁽²¹⁾, similares a este estudio. Asimismo, Vázquez *et al*⁽²²⁾ consideraron las coordenadas cromáticas más importantes en carne: L^* (luminosidad), a^* (tonos rojos) y b^* (tonos amarillos). Hay muchos factores que influyen en el valor de estos indicadores, como el tipo de músculo, el pH, la edad, la raza, el contenido de mioglobina, el método de sacrificio y la alimentación⁽¹³⁾. En este sentido, se reportaron valores similares de a^* (5.53), aunque valores bajos de b^* (0.85) que los mostrados en el Cuadro 2⁽²³⁾.

Por otro lado, la harina de *Agave fourcroydes* como aditivo nutracéutico en dietas no alteró ($P>0.05$) la calidad sensorial del músculo LD de conejos de engorda (Cuadro 2), resultado que se considera positivo, ya que una alteración en estos parámetros disminuye la elección de este producto por parte del consumidor y afecta con pérdidas económicas significativas. Aparentemente, la presencia de fructanos benéficos y metabolitos secundarios en las dietas⁽⁶⁾ debido a la suplementación con *A. fourcroydes* no causó anomalías en la carne de conejo.

Los resultados en el peso relativo del hígado, corazón y bazo de los conejos (Cuadro 3), mostraron que la harina de *Agave fourcroydes* no afectó las funciones orgánicas de los conejos, verificadas por el desempeño del crecimiento de los conejos en este grupo. Se reportaron resultados similares para el peso relativo de las vísceras, cuando se utiliza un extracto seco de *A. fourcroydes* en animales de laboratorio⁽²⁴⁾. Sin embargo, en varios trabajos^(25,26) cuando se utilizaron alimentos nutraceuticos, se reportaron pesos variables en las vísceras. Otro dato interesante es que el peso relativo del bazo no aumentó ($P>0.05$) cuando se suplementó *A. fourcroydes* en dietas de conejo. El aumento del peso de los órganos inmunes no siempre se asocia con un aumento de la actividad inmunológica y una respuesta productiva⁽²²⁾, como se observa en este estudio, que la T1 mejoró el desempeño, sin influencia en el peso relativo de este órgano inmune.

En conejos, los estudios han demostrado que las características físico-químicas del alimento (principalmente altas concentraciones de FDN) modifican el peso y la morfometría intestinal debido a la mayor permanencia del quimo alimentario en estas porciones⁽⁹⁾. En este sentido, el *A. fourcroydes* como aditivo nutraceutico tiene un bajo contenido de FDN, FDA y LDA⁽⁶⁾ y su suplementación dietética no causó cambios significativos en TGI (Cuadro 3). Asimismo, Mourão *et al*⁽²⁷⁾ no encontraron variaciones en el peso relativo de los órganos digestivos en conejos cuando utilizaron fructooligosacáridos como suplemento prebiótico. Cabe señalar que el TGI de los conejos es un sistema de órganos, que reacciona de manera muy sensible debido a sus especialidades anatómicas contra alteraciones fuertes⁽²⁸⁾.

Además, los fructanos estimulan la proliferación de microorganismos benéficos, principalmente bacterias ácido-lácticas (BAL)⁽²⁹⁾. Un aumento de BAL puede influir en una exclusión competitiva favorable a nivel de TGI en los conejos bajo estudio, lo que podría aumentar la inhibición de la proliferación de microorganismos patógenos⁽³⁰⁾. Asimismo, los metabolitos secundarios, como taninos, cumarinas, carbohidratos reductores y flavonoides identificados en el *A. fourcroydes* al tener un efecto antimicrobiano comprobado⁽⁶⁾, lo que podría reducir las bacterias patógenas intestinales, como *E. coli*, *Clostridium* spp. y *Salmonella* spp. y provocar una exclusión competitiva favorable, debido a la mayor proliferación de BAL. La suplementación dietética con 1.5 % de *A. fourcroydes* causó una disminución ($P<0.05$) del pH cecal, tal vez debido al hecho de que las bacterias ácido-lácticas cecales en conejos degradan totalmente los fructanos⁽²⁴⁾. Autores como Pinheiro *et al*⁽³¹⁾, que utilizaron dietas ricas en fructanos encontraron respuestas similares en el pH cecal de los conejos.

Aparentemente, la suplementación dietética de *A. fourcroydes* no disminuyó la eficiencia proteica de la dieta debido a los valores de nitrógeno ureico en sangre⁽³²⁾. Muchos informes indican que los alimentos ricos en fructanos, como *A. fourcroydes*, reducen la glucosa sérica al aumentar la secreción del péptido similar al glucagón 1 (PSG 1) en las células L endocrinas en el intestino, los autores han encontrado resultados similares al usar extractos de *Agave fourcroydes* en las dietas de ratones de laboratorio⁽²⁴⁾. Se demostró que este producto natural tiene un efecto hipoglucémico significativo, ya que disminuyó la glucosa sérica en 25 mg/dl en comparación con el control. Asimismo, quizás, la presencia de metabolitos secundarios (especialmente polifenoles) en *A. fourcroydes* podría influir en la concentración sérica de glucosa debido al efecto astringente de estos metabolitos (principales polifenoles)⁽⁶⁾, que provocan una liberación intestinal lenta y mantenimiento de la glucosa en la dieta.

Un hecho relevante en este estudio es que la adición de *A. fourcroydes* tiene un importante efecto hipolipemiante. La alta concentración de fructanos y la presencia de metabolitos secundarios benéficos en *A. fourcroydes*, así como una mayor población de BAL y una mejor salud intestinal⁽⁷⁾, podrían haber influido en la disminución del colesterol sérico en 21 mg/dl con respecto al control. Tal vez esto causó una disminución de LBD en 82 mg/dl, en comparación con el control. Además, los triacilglicéridos disminuyeron debido al efecto de *A. fourcroydes* en 17 mg/dl en comparación con el testigo. Los resultados mostraron que la suplementación dietética con *A. fourcroydes* disminuyó ambas lipoproteínas (LBD y LAD) (Cuadro 4). Sin embargo, la harina de *A. fourcroydes* redujo el índice aterogénico en 0.89 en comparación con la dieta base. Actualmente, no hay patrones definidos de índices aterogénicos para conejos. Sin embargo, una disminución en este índice debería favorecer la salud de estos animales en crecimiento⁽³³⁾.

Conclusiones e implicaciones

La suplementación dietética con harina de *Agave fourcroydes* promovió un mejor crecimiento, con una disminución del pH cecal y un aumento en el recuento de bacterias ácido-lácticas cecales, además de reducir los lípidos dañinos (colesterol, triacilglicéridos y LBD), el índice aterogénico y la glucosa sérica, sin cambios significativos en el peso relativo de las porciones comestibles, los órganos digestivos y la composición química y la calidad sensorial del músculo *Longissimus dorsi*.

Literatura citada:

1. Falcao-e-Cunha L, Castro L, Maertens L, Marounex M, Pinheiro V, Freire J, Mourão J. Alternatives to antibiotic growth promoters in rabbit feeding: a review. *World Rabbit Sci* 2007;15(3):127-140.
2. Dalle-Zotte A, Celia C, Szendrő, Z. Herbs and spices inclusion as feedstuff or additive in growing rabbit diets and as additive in rabbit meat: A review. *Livest Sci* 2016;189(7):82-90.
3. Ayala L, Silvana N, Zocarrato I, Gómez S. Use of vulgar oregano (*Origanum vulgare*) as phytobiotic in fattening rabbits. *Cuban J Agr Sci* 2011;45(2):159-161.
4. Abd-El-Aziz AH, El-Kasrawy NI, Abd-El-Hack ME, Kamel SZ, Mahrous UE, El-Deeb EM, *et al.* Growth, immunity, relative gene expression, carcass traits and economic efficiency of two rabbit breeds fed prebiotic supplemented diets. *Anim Biotechnol* 2020;1-12.
5. Abd-El-Hack ME, Alagawany M, Abdelnour S. Responses of growing rabbits to supplementing diet with a mixture of black and red pepper oils as a natural growth promoter. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2019;103(2):509-517.
6. Iser M, Valdivié M, Figueredo L, Nuñez E, Más D, Martínez Y. Secondary metabolites, quality indicators and organoleptic characteristics of stems meal from *Agave fourcroydes* (Henequen). *Cuban J Agr Sci* 2020;54(1):1-10.
7. Iser M, Martínez Y, Ni H, Jiang H, Valdivié M, Wu X, *et al.* Effects of *Agave fourcroydes* powder as a dietary supplement on growth performance, gut morphology, concentration of IgG and hematology parameters of broiler rabbits. *Biomed Res Int* 2016;2016.
8. García J, Nicodemus N, Carabaño R, Villamide M, de Blas C. Determination of the number of replicates required to detect a significant difference between two means in rabbit's traits. *World Rabbit Sci* 2001;9(1):27-32.
9. de Blas J, Mateos G. Feed formulation. In: de Blas C, Wiseman J, editor. *The nutrition of the rabbit*. 2nd ed. Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing; 2010:223-232.
10. NORMA Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. México. 2014.
11. Blasco A, Ouhayoun J, Masoero G. Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Sci* 1993;4(2):93-99.

12. AOAC: Official Methods of Analysis. 18th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 2006.
13. Capra G, Martínez R, Fradiletti F, Cozzano S, Repiso L, Márquez R, Ibáñez F. Meat quality of rabbits reared with two different feeding strategies: with or without fresh alfalfa ad libitum. *World Rabbit Sci* 2013;21(1):23-32.
14. Dobiášová M. Atherogenic index of plasma theoretical and practical implications. *Clin Chem* 2004;50(7):1113-1115.
15. Bovera F, Nizza S, Marono S, Mallardo K, Piccolo G, Tudisco R, de Martino L, Nizza A. Effect of mannan oligosaccharides on rabbit performance, digestibility and rectal Bacterial anaerobic populations during an episode of epizootic rabbit enteropathy. *World Rabbit Sci* 2010;18(1):9-16.
16. Fathi M, Abdelsalam M, Al-Homidan I, Ebeid T, Shehab-El-Deen M, Abd-El-Razik M, Abou-Emera O, *et al.* Supplemental effects of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) leaves on growth performance, carcass characteristics, blood biochemistry and immune response of growing rabbits. *Ann Anim Sci* 2019;19(3):779-791.
17. Wang J, Lin L, Li B, Zhang F, Liu N. Dietary *Artemisia vulgaris* meal improved growth performance, gut microbes, and immunity of growing Rex rabbits. *Czech J Anim Sci* 2019;64(4):174-179.
18. Dalle-Zotte A, Cullere M, Tasoniero G, Gerencsér Z, Szendrő Z, Novelli E, Matics Z. Supplementing growing rabbit diets with chestnut hydrolyzable tannins: Effect on meat quality and oxidative status, nutrient digestibilities, and content of tannin metabolites. *Meat Sci* 2018;146(8):101-108.
19. Carrilho M, Campo M, Olleta J, Beltrán J, López M. Effect of diet, slaughter weight and sex on instrumental and sensory meat characteristics in rabbits. *Meat Sci* 2009;82(1):37-43.
20. Składanowska-Baryza J, Ludwiczak A, Pruszyńska-Oszmałek E, Kołodziejski P, Bykowska M, Stanisław M. The effect of transport on the quality of rabbit meat. *Anim Sci J* 2018;89(4):713-721.
21. Hulot F, Ouhayoun J. Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Sci* 2010;7(1):15-36.

22. Vázquez Y, Bernal H, Valdivié M, Gutiérrez E, Mora LM, Sánchez E, *et al.* Efecto de la inclusión de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en la calidad de la canal y de la carne de conejos en crecimiento. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(3):522-535.
23. Castellini C, dal Bosco A, Bernardini M, Cyril HW. Effect of dietary vitamin E on the oxidative stability of raw and cooked rabbit meat. *Meat Sci* 1998;50(2):153-161.
24. García Y, Bocourt R, Savón LL, García-Vieyra MI, López MG. Prebiotic effect of agave *Fourcroydes fructans*: an animal model. *Food Funct* 2015;6(9):3177-3182.
25. Tarek A, Zabut BM, Al-Krenawie A I. Effect of kefir intake on growth performance and some biochemical profiles among domestic rabbits. *World J Pharm Pharm Sci* 2017;6(3):223-240.
26. de Blas J, Chamorro S, García J, García P, García A, Gómez M, Menoyo D, Nicodemus N, Romero C, Carabaño R. Nutritional digestive disturbances in weaner rabbits. *Anim Feed Sci Tech* 2012;173(4):102-110.
27. Mourão J, Pinheiro V, Alves A, Guedes C, Pinto L, Saavedra M, Spring P, Kocher A. Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation in rabbits. *Anim Feed Sci Tech* 2006;126(2):107-120.
28. Dihigo L, Savón L, Sierra F. Morphometric studies of the gastrointestinal tract and internal organs of rabbits fed with feed containing sugar canmeal. *Cuban J Agr Sci* 2001;35(4):337-341.
29. Depeint F, Tzortzis G, Vulevic J, I'anson K, Gibson G. Prebiotic evaluation of a novel galactooligosaccharide mixture produced by the enzymatic activity of *Bifidobacterium bifidum* NCIMB 41171: in healthy humans: a randomized, double-blind, crossover, placebo-controlled intervention study. *Am J Clin Nutr* 2008;87(3):785-791.
30. Sharma KG, Vidyarthi VK, Zuyie R. Probiotics supplementation and performance of broiler rabbits. *Indian J Anim Sci* 2016;33(3):331-335.
31. Pinheiro V, Guedes C, Outor D, Mourao J. Effects of fibre level and dietary mannanoligosaccharides on digestibility, caecal volatile fatty acids and performances of growing rabbits. *Anim Feed Sci Technol* 2009;148(2-4):288-300.

32. Farías-Kovac C, Nicodemus N, Delgado R, Ocasio-Vega C, Noboa T, Abdelrasoul RA, *et al.* Effect of dietary insoluble and soluble fibre on growth performance, digestibility, and nitrogen, energy, and mineral retention efficiency in growing rabbits. *Animals* 2020;10(8):1-19.
33. Oršolić N, Landeka Jurčević I, Đikić D, Rogić D, Odeh D, Balta V, Perak E J, Terzi S, Jutrić D. Effect of propolis on diet-induced hyperlipidemia and atherogenic indices in mice. *Antioxidants* 2019;8(6):1–22.