

¿Afectan los taninos condensados de la dieta a los resultados productivos, la composición de ácidos grasos y el color de la carne de cordero?

J. Álvarez-Rodríguez^{1,*}, D. Villalba¹, E. Molina¹, B. Serrano-Pérez¹, J.R. Bertolín² y M. Joy²

¹ Universitat de Lleida, Departament de Ciència Animal, Avda. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida, España

² Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) – Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), Unidad de Producción y Sanidad Animal, Avda. Montañana, 930. 50059 Zaragoza. España

Resumen

Este meta-análisis evaluó el efecto de los taninos condensados (TC) (polifenoles formados a partir de monómeros flavan-3-ol) sobre los resultados productivos, la composición de ácidos grasos y el color de la carne de cordero, a partir de los resultados de 41 publicaciones (años 1998-2019) que permitieron realizar hasta 67 comparaciones entre lotes de corderos experimentales comparados con un lote control dentro del mismo ensayo. Estos lotes se dividieron en dos grupos, según la diferencia de contenido de TC entre el lote control y el experimental (nivel medio, 16 g/kg MS o alto, 25 g/kg MS). Se calculó la diferencia de medias entre cada lote experimental y su lote control para ganancia media diaria, consumo medio de alimento, índice de conversión, grasa intramuscular, perfil de ácidos grasos y coordenadas cromáticas de color de la carne. No se han observado diferencias significativas en los resultados productivos por la inclusión de TC en la dieta, siendo de mayor importancia el efecto de otros nutrientes de la dieta, como la proteína bruta y la grasa bruta. Se ha observado una reducción consistente de la ratio ácidos grasos saturados/ácidos grasos poliinsaturados y el contenido de ácido ruménico de la carne al incluir TC en la dieta. Sin embargo, la inclusión de TC en la dieta no mejoró significativamente los atributos de color de la carne respecto al lote control.

Palabras clave: Ovino, nutrición, perfil de ácidos grasos, biohidrogenación ruminal, color de la carne.

Do dietary condensed tannins affect the growth performance, fatty acid composition and lamb meat colour?

Abstract

This meta-analysis evaluated the effect of condensed tannins (TC) (polyphenols formed from flavan-3-ol monomers) on the growth performance, fatty acid composition and lamb meat colour, based on the results of 41 publications that allowed making up to 67 comparisons between batches of experimental lambs compared with a control lot within the same trial. These lots were divided into two groups, ac-

* Autor para correspondencia: jalvarez@ca.udl.cat

Cita del artículo: Álvarez-Rodríguez J, Villalba D, Molina E, Serrano-Pérez B, Bertolín JR, Joy M (en prensa). ¿Afectan los taninos condensados de la dieta a los resultados productivos, la composición de ácidos grasos y el color de la carne de cordero?. ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Vol. xx: 1-15. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.024>

According to the dietary TC content difference between the control and experimental batch (medium level, 16 g/kg DM or high, 25 g/kg DM). The mean difference between each experimental group and its control lot was calculated for average daily gain, average feed intake, feed conversion rate, intramuscular fat, fatty acid profile and chromatic meat colour attributes. No significant differences were observed in the growth performance due to dietary TC inclusion, being much important the effect of other nutrients, such as crude protein and crude fat. A consistent reduction in the ratio of saturated fatty acids/polyunsaturated fatty acids and rumenic acid content in meat was observed. However, dietary inclusion of TC did not improve meat colour attributes compared to control groups.

Keywords: Sheep, nutrition, fatty acid profile, rumen biohydrogenation, meat colour.

Introducción

Los taninos condensados (TC) o proantocianidinas son compuestos secundarios de alto peso molecular que protegen a las plantas de patógenos, insectos y herbívoros, gracias a su habilidad de formar complejos con las proteínas, polisacáridos y minerales (Mueller-Harvey, 2006). Por ello, los TC son más abundantes en las partes más vulnerables de las plantas (hojas jóvenes y flores) (Terrill *et al.*, 1992; Frutos *et al.*, 2004). Los TC son polímeros que generalmente están formados por 4 subunidades de monómeros (flavan-3-ol). A su vez, estos polímeros se dividen en proantocianidinas, cuando la estructura del flavan-3-ol es catequina y epicatequina, o prodelphinidinas, cuando la estructura del flavan-3-ol es galocatequina o epigalocatequina (Zeller, 2019). Estos polifenoles, siempre que no se consuman a dosis excesivamente altas, pueden ser beneficiosos para la nutrición y la salud animal. Entre sus propiedades destacan: la reducción de la degradabilidad ruminal de la proteína ingerida, que incrementa la cantidad de aminoácidos de la dieta que alcanzan el intestino delgado para ser absorbidos (Wang *et al.*, 1996), la prevención del meteorismo al reducir la rápida lisis de las células vegetales y con ello la solubilidad de las proteínas de la dieta en el rumen, y la inhibición de la metanogénesis (Patra y Saxena, 2011). También presentan propiedades anti-helmínticas y antibióticas, lo que a su vez reduce el riesgo de contaminación de la canal

durante el sacrificio (Hoste *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2018). Por otro lado, los TC pueden alterar la biohidrogenación (BH) ruminal de la grasa de la dieta, lo que se traduciría en cambios en la composición de los ácidos grasos (AG) de la carne, con un mayor contenido de AG trans de interés para la salud humana, como son los isómeros del ácido linoleico conjugado (Patra y Saxena, 2011).

Además, los TC podrían tener un efecto positivo sobre la conservación de la carne, debido a su capacidad antioxidante (Soobrattee *et al.*, 2005). Aunque existen otros compuestos naturales que podrían tener un modo de acción similar, por ejemplo, la vitamina E (especialmente, el α -tocoferol), el selenio, los carotenoides, y la vitamina C (ácido ascórbico), los compuestos fenólicos son un grupo amplio que ha ganado interés para mejorar el color de la carne durante su vida útil. Dichos compuestos engloban los polifenoles más comunes (flavonoides y TC, mayoritariamente), los ácidos fenólicos comúnmente aislados en los aceites esenciales de plantas aromáticas (ácido carnósico, ácido rosmarínico, y carvacrol, entre otros) (Zhang y Tsao, 2016) y otros compuestos fenólicos como el hidroxitirosol, presente en la aceituna (Martínez *et al.*, 2018). Además, la inclusión de polifenoles en la dieta del cordero resulta de mayor interés que su adición en el procesado de la carne, debido a su integración uniforme en los fosfolípidos de la membrana celular, lo que le permite reemplazar los antioxidantes

y antimicrobianos sintéticos usados en la industria alimentaria, como el butilhidroxitolueno, el galato de propilo y los sulfitos (Muela et al., 2014; Ortuño et al. 2015; Bellés et al., 2019a). Los TC pueden proceder de ingredientes ricos en estos polifenoles o extractos de estos mismos ingredientes, que son declarados en el Registro Comunitario de Aditivos Alimentarios como “productos naturales definidos botánicamente”, y son incluidos en la categoría de “aditivos organolépticos”, según el Reglamento (CE) 831/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 sobre los aditivos en la alimentación animal (DOCE, 2003).

Aunque se han realizado algunas revisiones bibliográficas sobre este tema (Vasta et al. 2008; Vasta y Luciano, 2011; Morales y Ungerfeld, 2015; Jenko et al., 2018), únicamente se ha encontrado un meta-análisis que determine la magnitud de respuesta de los resultados productivos frente al consumo de TC (Méndez-Ortiz et al., 2018). El presente meta-análisis se centrará en el efecto de los TC sobre los resultados productivos y, además, sobre la composición de ácidos grasos y color de la carne de cordero.

Material y métodos

Se realizó una revisión sistemática de publicaciones sometidas a revisión por pares y recogidas en la base de datos en línea Web of Science™. Se realizaron varias búsquedas en octubre de 2018, utilizando como palabras clave “diet”, “dietary”, “feed”, “lamb”, “meat” y “tannins”. La base de datos contenía publicaciones desde 1998 hasta algunas en prensa con fecha de publicación en 2019. De un total de 69 registros, se seleccionaron 41 publicaciones que cumplieron los siguientes criterios: a) el material animal fue de la especie ovina; b) estudios que contenían un lote control sin TC con la misma composición nutri-

cional de la dieta que el lote tratamiento; c) eran artículos de investigación; d) aportaban el tamaño de muestra (n), la variabilidad de la media (desviación o error estándar), la duración del estudio, y el peso final de los corderos al sacrificio; e) aportaban información sobre el valor nutritivo de la dieta; f) contenían resultados de, al menos, uno de los conceptos que se presentan en el Suplemento 1 sobre composición de los compuestos estudiados, rendimiento, cantidad y calidad de grasa y características de la carne.

Finalmente, se construyó una base de datos a partir de los resultados de esas 41 publicaciones (Suplemento 2), que permitieron realizar hasta 67 comparaciones entre lotes de corderos experimentales comparados con un lote control dentro del mismo ensayo. Se consideraron los estudios que incluyeron los polifenoles mediante ingredientes o extractos purificados de los mismos. En todos los casos, el músculo utilizado para las determinaciones de carne fue el lomo (*Longissimus thoracis et lumborum*). Estos lotes se dividieron en dos grupos, según la diferencia de contenido de TC entre el lote control y el experimental (nivel medio o alto, a partir de la mediana de distribución de medias de TC) (Tabla 1). Se calculó la diferencia de medias entre cada lote experimental y su lote control (expresada como porcentaje de la diferencia respecto a control) para cada variable respuesta recogida en la base de datos.

Las variables independientes (respuesta) incluidas en los modelos fueron la media del lote experimental, así como su diferencia con el lote control de ganancia media diaria (GMD), consumo medio de alimento (CMA), índice de conversión (IC) calculado como CMA/GMD, grasa intramuscular (GIM), AGPI n-6 y n-3, AGS, y c9t11-C18:2 (ácido ruménico) de la carne, y coordenadas cromáticas de color (CIELab) de la carne. Se planteó un modelo de mínimos cuadrados a partir de los datos medios de cada lote ponderados con su

tamaño de muestra. El modelo incluía como variable explicativa el nivel de TC (medio vs. alto), y como covariables se consideraron el nivel de proteína bruta (PB) y grasa bruta (GB) de la dieta. Los datos se analizaron con El programa estadístico JMP (13.0.01 versión; SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU). A partir de las coordenadas a^* (rojo) y b^* (amarillo), se calculó el ángulo de tono como

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \cdot 57,29 \text{ (expresado en grados), y}$$

$$\text{la intensidad de color como } C_{ab} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}.$$

Los resultados de estos modelos se muestran como medias mínimo cuadráticas y su error estándar. El efecto de la inclusión de TC respecto al lote control se evaluó, para cada variable, con los intervalos de confianza de la diferencia de medias. El nivel de significación se estableció en $P < 0,05$.

Resultados

Resultados productivos

En la Tabla 2 se describen los resultados productivos de los corderos cuyas dietas contenían niveles medios o altos de TC. La GMD, el CMA y el IC no se vieron afectados por la inclusión de TC ni fueron diferentes entre los niveles medios y altos de TC ($P > 0,10$). No obstante, el incremento del nivel de PB de la dieta redujo significativamente el IC ($P < 0,001$), mientras el aumento del nivel de GB de la dieta incrementó la GMD y el CMA ($P < 0,001$), aunque esta diferencia no mejoró el IC ($P > 0,10$).

Contenido y perfil de ácidos grasos de la carne

El contenido de GIM y la proporción de AGS, AGPI n-6 y n-3, y c9t11-C18:2 de la carne de cordero se muestran en la Tabla 3. La inclusión (variación respecto al lote control) y el nivel de TC (medio vs. alto) no afectó ni al con-

tenido de GIM ($P > 0,10$), ni a la proporción de AGS en la carne ($P > 0,10$). Sin embargo, la inclusión de TC se tradujo en una reducción de la ratio AGS/AGPI y un aumento del contenido de c9t11-18:2 en la carne, en comparación con el lote control (Figura 1, $P < 0,05$).

En cuanto a la variación entre niveles de TC (medio vs. alto), la concentración de AGPI n-6 en la carne fue superior con el nivel medio que con un nivel alto de TC ($P < 0,01$), aunque dicha variación, en términos proporcionales respecto al lote control, no fue significativa ($P > 0,10$). Por su parte, el incremento proporcional de AGPI n-3 en la carne tendió a ser inferior con el nivel medio que alto de TC ($P = 0,10$). Sin embargo, la ratio AGPI n-6/n-3 y el contenido de c9t11-18:2 de la carne no fueron diferentes entre niveles de TC ($P > 0,10$).

El aumento del nivel de PB de la dieta incrementó el contenido de AGPI n-6 ($P < 0,01$) y tendió a reducir la ratio AGS/AGPI en la carne ($P = 0,08$), aunque su variación proporcional respecto al lote control no fue diferente ($P > 0,10$). Por su parte, el aumento del nivel de GB de la dieta redujo el contenido de AGPI n-6 ($P < 0,01$), pero no afectó a su variación proporcional respecto al lote control ($P > 0,10$). Sin embargo, el aumento del nivel de GB en la dieta incrementó la concentración absoluta y proporcional respecto al lote control del contenido de AGS de la carne ($P < 0,01$), lo que se tradujo, a su vez, en un incremento de la ratio AGS/AGPI de la carne ($P < 0,05$). El nivel de PB y GB de la dieta no afectaron a la ratio AGPI n-6/n-3 y el contenido de c9t11-C18:2 de la carne ($P > 0,10$).

Color de la carne

Las coordenadas de color de la carne de cordero según el nivel de TC en la dieta se exponen en la Tabla 4. La inclusión de TC, con respecto al lote control, no afectó a ninguna coordenada cromática de la carne ($P > 0,10$). En cuanto a la variación entre niveles de TC

Tabla 1. Características de los estudios realizados en corderos de cebo usando dietas con un nivel medio o alto de polifenoles y taninos condensados (TC) (media aritmética ± desviación estándar, a partir de la bibliografía).

Table 1. Database traits of animal studies using medium and high level of dietary polyphenols and condensed tannins (TC) in finishing lambs (arithmetic mean ± standard deviation, based on literature references).

	Nivel de TC	
	Medio	Alto
Número de publicaciones	24 (años 1998-2018)	17 (años 2005-2019)
Número de comparaciones	38	29
Polifenoles (g/kg MS) en las dietas experimentales	22 ± 28	32 ± 21
Diferencia de polifenoles respecto a control (%)	62,5 ± 22,2	98,0 ± 5,0
TC (g/kg MS)	16 ± 11	25 ± 23
Diferencia de TC respecto a control (%)	75,5 ± 24,9	99,9 ± 0,2
Nivel de inclusión del ingrediente/ extracto (g/kg)	209 ± 147	93 ± 157
PB dieta (g/kg MS)	164 ± 20	169 ± 38
GB dieta (g/kg MS)	36 ± 18	34 ± 16
Forma de presentación de la dieta (n° lotes)	Pienso compuesto (P) (24) Pienso compuesto (P) (14)	Mezcla completa (M) (14) Mezcla completa (M) (8) Forraje (F) (7)
Fuentes de polifenoles y TC (forma de presentación y n° lotes) ¹	Acacia australiana (<i>Acacia mearnsii</i>) (M) (1) Cascarilla de algodón (<i>Gossypium spp.</i>) (o mezcla con hojas de enebro) (P) (2), (M) (1) Ensilado de granada (<i>Punica granatum</i>) (M) (2) Garrofa (<i>Ceratonía siliqua</i>) (vaina, pulpa, mezclada con pulpa de naranja, o mezcla con polietilenglicol, PEG) (P) (10) Hojas de enebro agoriza (<i>Juniperus pinchotii</i>) (M) (2) Jara pringosa (<i>Cistus ladanifer</i>) (P) (3) M (1)	Ababán (<i>Caesalpinia coriaria</i>) (M) (1) Babassu (<i>Orbignya phalerata</i>) (M) (1) Du-Zhong (<i>Eucommia ulmoides</i>) (M) (2) Ensilado de esparceta (<i>Onobrychis viciifolia</i>) (F) (1) Lotus (<i>Lotus corniculatus</i>) (F) (1) Madera de castaño (<i>Castanea sativa</i>) (M) (2) Mofumbo (<i>Combretum leprosum</i>) (M) (1) Orujo de granada (<i>Punica granatum</i>) (P) (2)

Tabla 1. Características de los estudios realizados en corderos de cebo usando dietas con un nivel medio o alto de polifenoles y taninos condensados (TC) (media aritmética \pm desviación estándar, a partir de la bibliografía) (continuación).

Table 1. Database traits of animal studies using medium and high level of dietary polyphenols and condensed tannins (TC) in finishing lambs (arithmetic mean \pm standard deviation, based on literature references) (continuation).

	Nivel de TC	
	Medio	Alto
	Orujo o extracto de semilla de uva (<i>Vitis vinífera</i>) (P) (2), (M) (1)	Orujo, extracto de uva negra (<i>Vitis vinífera</i>) (sola, con trébol blanco o raigrás inglés) (P) (5); M (2); (F) (2)
	Pulpa de cítricos (<i>Citrus spp.</i>) (P) (5) Quebracho (<i>Schinopsis lorentzii</i>) (P) (2)	Quebracho (<i>Schinopsis lorentzii</i>) (P) (6)
	Subproducto de pistacho (<i>Pistacia vera</i>) (seco o ensilado) (M) (6)	Zulla (<i>Hedysarum coronarium</i>) (o mezcla con PEG) (F) (3)
Duración de la dieta (días)	63,0 \pm 18,4	53,2 \pm 14,7
Tipo genético (nº estudios) ¹	Local (28) Mejorado (10)	Local (18) Mejorado (11)
Peso sacrificio (kg)	34,1 \pm 10,0	32,6 \pm 10,5

¹ Local = Balouchi (Irán), Barbaresca (Italia), Churra (España), Churra Tensina (España), Comisana (Italia), cruce desconocido (México), Florina (Grecia), Huzhou (China), Kermani (Irán), Manchego (España), Mehraban (Irán), Merino Branco (Portugal), Rasa Aragonesa (España), Ujumqin (China), Alpino blanco (Suiza); Mejorado = Awassi (Israel), Dohne Merino (Sudáfrica), Dorper x Small (Sudáfrica), Finn-Columbia-Polypay-Suffolk (EEUU), Rambouillet (EEUU), Santa Inês (Brasil), Sarda x Comisana (Italia), cruce neozelandés (Nueva Zelanda).

(medio vs. alto), la luminosidad (L^*) de la carne fue menor con niveles altos que con niveles medios de TC ($P < 0,05$). Por su parte, el incremento proporcional del índice de rojo (a^*) de la carne, respecto al lote control fue superior con niveles altos que medios de TC ($P < 0,05$). El índice de amarillo (b^*) no se vio afectado por el nivel de TC de la dieta ($P > 0,10$). El tono (h_{ab}) fue superior mientras la intensidad de color (C_{ab}) fue inferior con ni-

veles altos que medios de TC ($P < 0,05$), aunque estas diferencias no fueron significativas con respecto a su variación proporcional respecto al lote control ($P > 0,10$).

El incremento del nivel de PB de la dieta únicamente incrementó la luminosidad (L^*) de la carne ($P < 0,001$), mientras el aumento del nivel de GB de la dieta redujo el índice de amarillo (b^*) ($P < 0,001$) y la intensidad de color (C_{ab}) de la carne ($P < 0,01$).

Tabla 2. Ganancia media diaria (GMD), consumo medio de alimento (CMA) e índice de conversión (IC) de corderos de cebo según el nivel de taninos condensados (TC) en la dieta (media cuadrática \pm error estándar, a partir de la bibliografía).

Table 2. Average daily gain (GMD), average feed intake (CMA), and feed conversion rate (IC) in finishing lambs according to dietary level of condensed tannins (TC) (least square means \pm standard error, based on literature references).

	Nivel de TC		Nivel de significación (valor P)		
	Medio	Alto	Nivel TC	Covariable PB dieta ¹	Covariable GB dieta
Ganancia media diaria (GMD)					
Número de comparaciones	34	27	–	–	–
GMD (g/día)	235 \pm 15	226 \pm 17	NS	NS	29 \pm 6 ^{***}
Δ respecto a control (%)	-1,2 \pm 4,8	-9,7 \pm 5,5	NS	NS	4 \pm 2 [†]
Consumo medio de alimento (CMA)					
Número de comparaciones	34	19	–	–	–
CMA (kg/día)	1,27 \pm 0,06	1,25 \pm 0,08	NS	NS	0,11 \pm 0,03 ^{***}
Δ respecto a control (%)	4,1 \pm 2,1	4,0 \pm 2,9	NS	NS	NS
Índice de conversión (IC)					
Número de comparaciones	33	18	–	–	–
IC (kg/kg)	5,39 \pm 0,20	5,40 \pm 0,28	NS	-0,29 \pm 0,09 ^{**}	NS
Δ respecto a control (%)	3,57 \pm 2,16	-1,14 \pm 3,00	NS	NS	NS

¹ Cuando las covariables han resultado significativas († indica una tendencia P = 0,06; **: p < 0,01; ***: p < 0,001), se indican los coeficientes de regresión (media cuadrática \pm error estándar) por cada unidad porcentual adicional de Proteína Bruta (PB) o Grasa Bruta (GB) en la dieta.

Tabla 3. Grasa intramuscular (GIM), ácidos grasos poli-insaturados (AGPI) n-6 y n-3, ácidos grasos saturados (AGS), y ácido ruménico (c9t11-C18:2) de la carne (*L. lumbrorum et thoracis*) de cordero según el nivel de taninos condensados (TC) en la dieta (media cuadrática \pm error estándar, a partir de la bibliografía).

Table 3. Intramuscular fat (GIM), polyunsaturated fatty acids (AGPI) n-6 and n-3, saturated fatty acids (AGS), and rumenic acid (c9t11-C18:2) in lamb meat (*L. lumbrorum et thoracis*) according to dietary level of condensed tannins (TC) (least square means \pm standard error, based on literature references).

	Nivel de TC		Nivel de significación (valor P)		
	Medio	Alto	Nivel TC	Covariable PB dieta ¹	Covariable GB dieta
Grasa intramuscular (GIM)					
Número de comparaciones	21	16	–	–	–
GIM (g/kg carne)	28,6 \pm 3,7	25,5 \pm 4,2	NS	NS	NS
Δ respecto a control (%)	+3,6 \pm 5,7	-11,3 \pm 6,5	NS	NS	NS
AGS					
Número de comparaciones	18	11	–	–	–
AGS (g/kg AG)	408 \pm 16	433 \pm 20	NS	NS	+18,1 \pm 6,3**
Δ respecto a control (%)	-2,2 \pm 1,7	-3,4 \pm 2,2	t	NS	+2,9 \pm 0,7***
AGPI n-6					
Número de comparaciones	18	13	–	–	–
AGPI n-6 (g/kg AG)	159 \pm 10	110 \pm 12	**	+13,3 \pm 3,9**	-13,1 \pm 3,8**
Δ respecto a control (%)	+2,1 \pm 4,9	+8,1 \pm 5,9	NS	NS	NS
AGPI n-3					
Número de comparaciones	16	11	–	–	–
AGPI n-3 (g/kg AG)	62 \pm 10	54 \pm 13	NS	NS	NS
Δ respecto a control (%)	+8,4 \pm 4,9	+22,8 \pm 6,4	t	NS	NS
Ratio AGS/AGPI					
Número de comparaciones	18	11	–	–	–
Ratio AGS/AGPI	2,4 \pm 0,2	2,7 \pm 0,3	NS	-0,16 \pm 0,09 ^t	+0,26 \pm 0,08**
Δ respecto a control (%)	-2,3 \pm 6,1	-25,2 \pm 8,7	*	NS	+5,8 \pm 2,5*
Ratio n-6/n-3					
Número de comparaciones	18	11	–	–	–
Ratio n-6/n-3	12,5 \pm 6,5	3,2 \pm 8,5	NS	NS	NS
Δ respecto a control (%)	-9,9 \pm 14,9	-34,4 \pm 19,5	NS	NS	NS
c9,t11-C18:2					
Número de comparaciones	17	10	–	–	–
c9,t11-C18:2 (g/kg AG)	8,7 \pm 0,9	9,1 \pm 1,4	NS	NS	NS
Δ respecto a control (%)	+10,6 \pm 8,0	+32,1 \pm 12,4	NS	NS	NS

¹ Cuando las covariables han resultado significativas (^t indica una tendencia $P < 0,10$; **; $p < 0,01$; ***; $p < 0,001$), se indican los coeficientes de regresión (media cuadrática \pm error estándar) por cada unidad porcentual adicional de Proteína Bruta (PB) o Grasa Bruta (GB) en la dieta.

Tabla 4. Coordenadas cromáticas (escala CIELab) de la carne (*L. lumbrorum et thoracis*) de cordero según el nivel de taninos condensados (TC) en la dieta (media cuadrática \pm error estándar, a partir de la bibliografía) en medidas realizadas a los 3 ± 2 días después del despiece.

Table 4. Chromatic attributes (CIELab scale) on finishing lamb meat (*L. lumbrorum et thoracis*, measured 3 ± 2 days after carcass jointing) according to dietary level of condensed tannins (TC) (least square means \pm standard error, based on literature references).

	Nivel de TC		Nivel de significación (valor P)		
	Medio	Alto	Nivel TC	Covariable PB dieta ¹	Covariable GB dieta
Número de comparaciones	20	16	–	–	–
Luminosidad (L*)					
L*	43,6 \pm 1,1	39,6 \pm 1,0	*	+1,5 \pm 0,4***	NS
Δ respecto a control (%)	+0,3 \pm 1,0	+2,1 \pm 1,0	NS	NS	NS
Índice de rojo (a*)					
a*	14,4 \pm 1,0	9,9 \pm 1,0	**	NS	NS
Δ respecto a control (%)	-5,7 \pm 1,8	+1,6 \pm 1,8	*	NS	NS
Índice de amarillo (b*)					
b*	8,1 \pm 0,7	8,4 \pm 0,7	NS	NS	-0,9 \pm 0,3***
Δ respecto a control (%)	-7,1 \pm 4,5	-0,6 \pm 4,4	NS	NS	NS
Tono (h _{ab})					
h _{ab} (%)	28,2 \pm 5,0	43,0 \pm 4,8	*	NS	NS
Δ respecto a control (%)	-0,7 \pm 2,3	2,4 \pm 2,3	NS	NS	NS
Intensidad de color (C _{ab})					
C _{ab} (%)	16,8 \pm 0,5	13,8 \pm 0,5	***	NS	-0,6 \pm 0,2**
Δ respecto a control (%)	-6,0 \pm 3,3	-3,5 \pm 3,2	NS	NS	NS

¹ Cuando las covariables han resultado significativas (**: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$), se indican los coeficientes de regresión (media cuadrática \pm error estándar) por cada unidad porcentual adicional de Proteína Bruta (PB) o Grasa Bruta (GB) en la dieta.

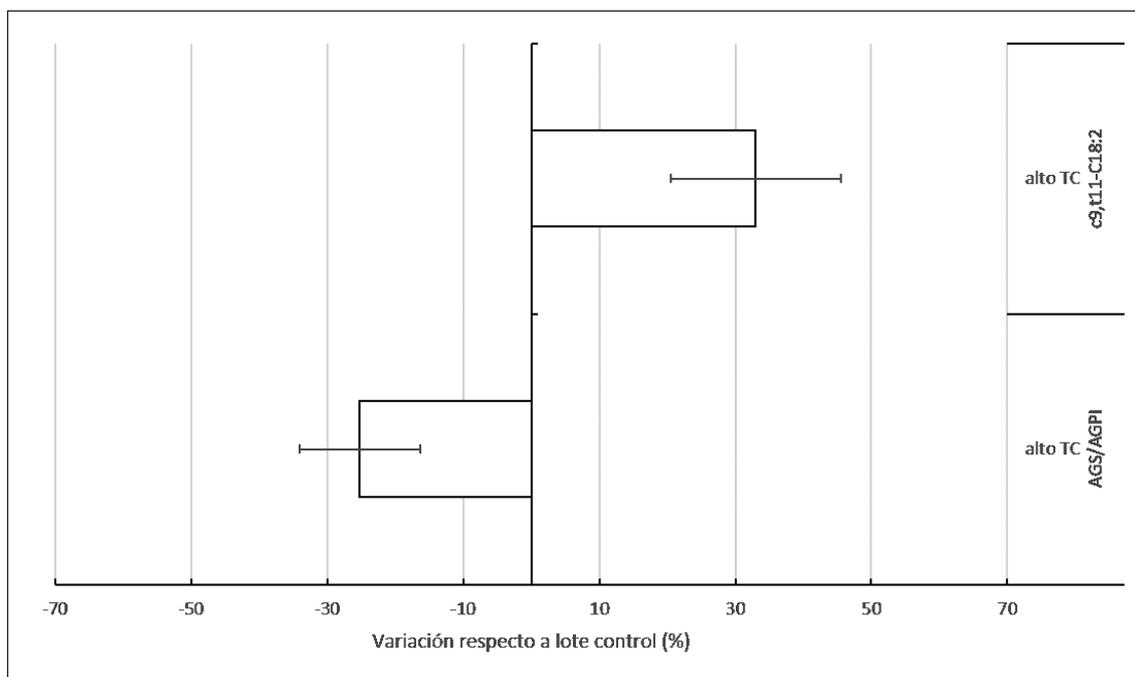


Figura 1. Variables respuesta que se vieron significativamente afectadas por la inclusión de taninos condensados (TC) (test de diferencia de medias, diferente a 0, $P < 0,05$): ácido ruménico (c9,t11-C18:2) y ratio de ácidos grasos saturados (AGS)/ácidos grasos poli-insaturados (AGPI) en carne de cordero.

Figure 1. Response variables that were significantly affected by dietary condensed tannins (TC) (mean difference test, different to 0, $P < 0.05$): ruminic acid (c9,t11-C18:2) and saturated fatty acids (AGS)/polyunsaturated fatty acids (AGPI) ratio in lamb meat.

Discusión

En el presente meta-análisis no se han observado diferencias significativas en los resultados productivos de los corderos por la inclusión de TC a dosis medias-altas (16-25 g de TC/kg MS), siendo de mayor importancia el efecto de otros nutrientes de la dieta, como la PB y la GB. En este sentido, el índice de conversión de alimento se relacionó positivamente con el nivel de PB de la dieta, mientras la ganancia de peso y el consumo de alimento mejoraron cuanto mayor fue la GB de la dieta. En rumiantes de cebo en condiciones comerciales, no es recomendable la inclusión de altas cantidades de GB (>60 g/kg de MS consu-

mida) por la reducción de la función ruminal (Toral et al., 2018), aunque en algunos estudios se ha recomendado incrementar la GB de la dieta hasta 80 g/kg de MS para ofrecer una cantidad suficiente de sustrato de AGPI para la BH ruminal (Francisco et al., 2018).

El contenido de TC en la dieta afecta a la digestión y los resultados productivos del animal. Cuando la concentración de TC en la dieta es excesivamente elevada, el consumo de alimento se resiente, debido a su carácter astringente, y la digestión de proteína y otros nutrientes se reduce debido a su "sobrepotección". Además, se produce un efecto negativo sobre la actividad microbiana ruminal e inhibe la actividad de las enzimas digestivas

endógenas, lo que en conjunto afecta negativamente a los resultados productivos. A pesar de que la inclusión de TC a las concentraciones presentadas en esta revisión no presenta un efecto sobre el consumo de alimento y los cambios de peso vivo, el consumo de TC supone un coste metabólico en condiciones de bajo nivel de PB de la dieta (Méndez-Ortiz et al., 2018), que según estos autores, se definiría como la cantidad de energía y proteína adicional que un animal necesita para superar el efecto adverso de reducción de la digestibilidad causado por la inclusión de TC.

En los últimos años, las recomendaciones para reducir el consumo de grasas saturadas en nutrición humana han conllevado a una búsqueda de dietas que favorezcan la presencia de grasas insaturadas. Esta premisa es difícil de cumplir en la carne de los rumiantes, que contienen, en general, una menor proporción de grasas insaturadas que la carne de cerdo y pollo. En este sentido, los TC en la dieta de rumiantes se han utilizado para mejorar el perfil AG tanto en leche como en carne (Morales y Ungerfeld, 2015). En este meta-análisis se ha observado una reducción consistente de la ratio AGS/AGPI al incluir un nivel alto de TC en la dieta del cordero.

El isómero de ácido graso trans-C18:1 más importante en el rumen de animales con dietas forrajeras es el t11-C18:1 (Alves et al., 2013), que a su vez, se acumula en la leche y/o la carne. Posteriormente, el t11:C18:1 se convierte parcialmente en c9t11-C18:2, al que se le atribuyen efectos beneficiosos para la salud humana (Den Hartigh, 2019). La acumulación de C18:0 en los tejidos se considera un indicador del grado de BH o de la inhibición de su paso terminal, mientras el incremento de t10-C18:1 reflejaría una modificación hacia rutas alternativas (Toral et al., 2018), que se producen en situaciones de pH bajos por dietas ricas en almidón o suplementadas con AGPI (Bauman y Griinari, 2003). En este meta-

análisis se ha evidenciado un incremento significativo del contenido de c9t11-C18:2 en la carne al incluir un alto nivel de TC en la dieta, en comparación con los lotes control, pero no se han observado diferencias en este ácido graso entre el nivel medio y alto de TC. Por tanto, para mejorar de forma consistente el perfil lipídico de la carne de cordero sería necesario suplementar la dieta con niveles altos de TC (≥ 25 g/kg MS).

El papel de los TC en la BH ruminal no ha podido aclararse hasta el momento, debido a los diferentes planteamientos experimentales (*in vivo* vs. *in vitro*), de la dosis utilizada y, sobre todo, a la variación de sus características estructurales y su reactividad (dependiente de sus métodos de extracción, variedades y partes de las plantas) (Toral et al., 2018). En este sentido, Alves et al. (2017) han comprobado que los TC de jara pringosa (*Cistus ladanifer*) provocan una BH incompleta que incrementa la acumulación de intermediarios de C18 en el rumen, abomaso y plasma. Sin embargo, cuando la dieta basal es rica en concentrado ($\geq 50\%$) en vez de forraje, se produce un incremento de t10-C18:1 (ácido graso trans desfavorable para la salud humana) a expensas de t11-C18:1 (ácido vacénico), lo que puede suponer un limitante para el enriquecimiento de carne de cordero con ácido ruménico (c9,t11-C18:2) (Bessa et al., 2015). En la revisión de Toral et al. (2018) se reconoce la ausencia de estudios que detecten los ácidos grasos intermediarios de rutas alternativas de BH (t10-C18:1).

En este meta-análisis únicamente se observaron diferencias significativas en las variaciones proporcionales del índice de rojo (a*) de la carne, que aunque no difirió respecto al lote control al incluir TC en la dieta, fue menor con niveles medios en comparación con los niveles altos de TC en la dieta. En términos absolutos, la luminosidad y la intensidad de color fueron más elevadas y el ángulo de tono (h_{ab}) fue inferior en los tratamientos

con un nivel medio que alto de TC en la dieta. Se asume que h_{ab} es un parámetro que indica el cambio de color hacia la decoloración y que valores más elevados indican un color menos rojo y con mayor contenido de metamioglobina (AMSA, 2012). De modo que la carne de cordero procedente de niveles medios mostraría una apariencia de color más favorable que la de niveles altos de TC en la dieta, aunque estos resultados llegaron a diferir significativamente respecto al lote control.

Se ha comprobado una interacción positiva entre el contenido de polifenoles de la pulpa seca de cítricos (*Citrus spp.*) (Luciano et al., 2017) y el extracto de tara (*Caesalpinia spinosa*) (Valenti et al., 2019) con el contenido de la vitamina E del músculo y, específicamente, con el α -tocoferol, que es su isómero con mayor capacidad antioxidante (Bellés et al., 2019b). Estos estudios confirman el papel sinérgico entre los TC y otros compuestos que realizan la función de barrido de radicales libres en la carne. Valenti et al. (2019) sugieren que existe un mayor efecto antioxidante cuando la proporción de TC en relación al total de polifenoles de la dieta es menor (un 68,5% en vez de un 86,5%) ya que presenta una mayor estabilidad del color de la carne. En el presente meta-análisis los estudios presentaron proporciones de entre el 72,7% ($\pm 28,2\%$) (nivel medio de TC) y el 78,1% ($\pm 26,3\%$) (nivel alto de TC) de TC sobre el total de polifenoles. A su vez, las dietas del grupo medio presentaban un mayor nivel de inclusión del producto rico en TC que las dietas con el nivel alto, debido a que estas últimas recibieron en muchos casos el suplemento en forma de extracto en vez de como ingrediente del pienso o mezcla completa. Por tanto, la utilización de ingredientes ricos en polifenoles y/o TC (excepto en el caso de plantas forrajeras) no permitirá enriquecer las dietas hasta un nivel alto de TC a no ser que se empleen extractos purificados u orujos concentrados de los mismos. Posi-

blemente existían diferencias de AGPI y α -tocoferol en las dietas usadas en los diferentes ensayos que pueden haber afectado a las diferencias de color de la carne al incluir TC. De hecho, en el grupo alto de TC contenía una pequeña proporción de lotes (7/29) cuya fuente de TC eran forrajes, que podían presentar, a su vez, un mayor contenido de otros antioxidantes que en las formas de presentación de los ingredientes del grupo con un nivel medio de TC.

Se cree que la oxidación de la mioglobina durante la conservación de carne estaría causada por la formación de compuestos derivados de la oxidación lipídica (por ejemplo, aldehídos) (Suman et al., 2007), por lo que ambos procesos tienen lugar de forma concurrente (Luciano et al., 2009). Por tanto, los polifenoles y, concretamente, los TC de la dieta únicamente reducirían la oxidación lipídica de la carne si la deposición de agentes pro-oxidantes (como los AGPI) no rompe el equilibrio aportado por los agentes antioxidantes (como el α -tocoferol). Esto coincidiría con el sugerido efecto indirecto de los TC sobre la capacidad antioxidante de los tejidos, al no haber observado degradación ni absorción de polifenoles de quebracho (*Schinopsis lorentzii*) en el tracto digestivo de corderos, aunque sí mejoró la capacidad antioxidante del hígado y el plasma (López-Andrés et al., 2013). Sin embargo, recientemente se ha descrito una desaparición de TC procedentes de esparceta (*Onobrychis viciifolia*) granulada y piel de avellana (*Corylus avellana*) a lo largo del tracto digestivo de corderos (entre el 61% y el 85%), lo que sugiere que algunos de ellos sufren modificaciones de su estructura, se degradan o son absorbidos durante la digestión (Quijada et al., 2018).

Como conclusión, la inclusión de TC en la dieta no ha provocado diferencias significativas en los resultados productivos de los corderos pero sí una reducción consistente de la ratio ácidos grasos saturados/ácidos grasos poliin-

saturados y el contenido de ácido ruménico de la carne. Sin embargo, la inclusión de TC en la dieta no mejoró los atributos de color de la carne respecto al lote control. Teniendo en cuenta la variedad de ingredientes que contienen TC, se requeriría confirmar su papel antioxidante para amortiguar la oxidación lipídica y la formación de metamioglobina en la carne, que podría estar solapado con la vitamina E, o bien mimetizado por la reducción del potencial pro-oxidante al formarse ácidos grasos intermediarios (trans).

Material complementario

El material complementario de este artículo se puede consultar en la URL <https://doi.org/10.12706/itea.2019.024>

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto RTA2017-00008-C02-02 (Financiado por el MINECO-INIA).

Referencias bibliográficas

- Alves SP, Santos-Silva J, Cabrita ARJ, Fonseca AJM, Bessa RJB (2013). Detailed dimethylacetal and fatty acid composition of rumen content from lambs fed lucerne or concentrate supplemented with soybean oil. *PLOS ONE* 8: e58386. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058386>
- Alves SP, Francisco A, Costa M, Santos-Silva J, Bessa RJB (2017). Biohydrogenation patterns in digestive contents and plasma of lambs fed increasing levels of a tanniferous bush (*Cistus ladanifer* L.) and vegetable oils. *Animal Feed Science and Technology* 225: 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.018>
- AMSA (2012). Meat color measurement guidelines. Ed. American Meat Science Association: Champaign, IL, EEUU. 136 pp.
- Bauman DE, Griinari JM (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23: 203-227. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408>
- Bellés M, Alonso V., Roncalés P, Beltrán JA (2019a). Sulfite free lamb burger meat: antimicrobial and antioxidant properties of green tea and carvacrol. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99: 464-472. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9208>
- Bellés M, Campo MM, Roncalés P, Beltrán JA (2019b). Supranutritional doses of vitamin E to improve lamb meat quality. *Meat Science* 149: 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.002>
- Bessa RJB, Alves SP, Santos-Silva J (2015). Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 117: 1325-1344. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400468>
- Den Hartigh LJ (2019). Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis: a review of pre-clinical and human trials with current perspectives. *Nutrients* 11: 370. <https://doi.org/10.3390/nu11020370>
- DOCE (2003) Reglamento (CE) No 1831/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 sobre los aditivos en la alimentación animal. *Diario Oficial de la Unión Europea*, Serie L núm. 268, de 18 de octubre de 2003, pp. 29-43.
- Francisco A, Alves SP, Portugal PV, Dentinho MT, Jerónimo E, Sengo S, Almeida J, Bressan MC, Pires VMR, Alfaia CM, Prates JAM, Bessa RJB, Santos-Silva J (2018). Effects of dietary inclusion of citrus pulp and rockrose soft stems and leaves on lamb meat quality and fatty acid composition. *Animal* 12(4): 872-881. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002269>
- Frutos P, Hervás G, Giráldez FJ, Mantecón AR (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2(2): 191-202. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-73>
- Hoste H, Gaillard L, Le Frileux Y (2005). Consequences of the regular distribution of sainfoin hay on gastrointestinal parasitism with nema-

- todes and milk production in dairy goats. *Small Ruminant Research* 59: 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.011>
- Huang QQ, Liu XL, Zhao GQ, Hu T, Wang Y (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition* 4: 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>
- Jenko C, Bonato P, Fabre R, Perlo F, Tisocco O, Teira G (2018). Adición de taninos a dietas de rumiantes y su efecto sobre la calidad y rendimiento de la carne. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 29 (56): 224-241.
- López-Andrés P, Luciano G, Vasta V, Gibson TM, Biondi L, Priolo A, Mueller-Harvey I (2013). Dietary quebracho tannins are not absorbed, but increase the antioxidant capacity of liver and plasma in sheep. *British Journal Nutrition* 110: 632-639. <https://doi.org/10.1017/S0007114512005703>
- Luciano G, Monahan FJ, Vasta V, Pennisi P, Bella M, Priolo A. (2009). Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science* 82: 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.010>
- Luciano G, Roscini V, Mattioli S, Ruggeri S, Gravador R, Natalello A, Lanza M, De Angelis A, Priolo A (2017). Vitamin E is the major contributor to the antioxidant capacity in lambs fed whole dried citrus pulp. *Animal* 11(3): 411-417. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001683>
- Martínez L, Ros G, Nieto G (2018). Hydroxytyrosol: Health benefits and use as functional ingredient in meat. *Medicines* 5: 13. <https://doi.org/10.3390/medicines5010013>
- Méndez-Ortiz FA, Sandoval-Castro CA, Ventura-Cordero J, Sarmiento-Franco LA, Torres-Acosta JFJ (2018). Condensed tannin intake and sheep performance: A meta-analysis on voluntary intake and live weight change. *Animal Feed Science and Technology* 245: 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2018.09.001>
- Morales R, Ungerfeld EM (2015). Use of tannins to improve fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75(2): 239-248. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000200014>
- Muela E, Alonso V, Campo MM, Sañudo C, Beltrán JA (2014). Antioxidant diet supplementation and lamb quality throughout preservation time. *Meat Science* 98(2): 289-295. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.035>
- Mueller-Harvey I (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 2010-2037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>
- Ortuño J, Serrano R, Bañón S. (2015). Antioxidant and antimicrobial effects of dietary supplementation with rosemary diterpenes (carnosic acid and carnosol) vs vitamin E on lamb meat packed under protective atmosphere. *Meat Science* 110: 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.011>
- Patra AK, Saxena J (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 24-37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
- Quijada J, Drake C, Gaudin E, El-Korso R, Hoste H, Mueller-Harvey I (2018). Condensed tannin changes along the digestive tract in lambs fed with sainfoin pellets or hazelnut skins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66 (9): 2136-2142. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05538>
- Soobrattee MA, Neergheen VS, Luximon-Ramma A, Aruoma OI, Bahorun T (2005). Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research – Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 579: 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.03.023>
- Suman SP, Faustman C, Stamer SL, Liebler DC (2007). Proteomics of lipid oxidation-induced oxidation of porcine and bovine oxymyoglobins. *Proteomics* 7: 628-640. <https://doi.org/10.1002/pmic.200600313>
- Terrill TH, Rowan AM, Douglas GB, Barry TN (1992). Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58(3): 321-329. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740580306>

- Toral PG, Monahan FJ, Hervás G, Frutos P, Moloney AP (2018). Review: Modulating ruminal lipid metabolism to improve the fatty acid composition of meat and milk. Challenges and opportunities. *Animal* 12(S2): s272-s281. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001994>
- Valenti B, Natalello A, Vasta V, Campidonico L, Roscini V, Mattioli S, Pauselli M, Priolo A, Lanza M, Luciano G (2019). Effect of different dietary tannin extracts on lamb growth performances and meat oxidative stability: Comparison between mimosa, chestnut and tara. *Animal* 13(2): 435-443. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001556>
- Vasta V, Nudda A, Cannas A, Lanza M, Priolo A (2008) Alternative feed resources and their effects on meat and milk quality from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 147: 223–246. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.020>
- Vasta V, Luciano G (2011). The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Ruminant Research* 101: 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.035>
- Wang Y, Waghorn GC, McNabb WC, Barry TN, Hedly MJ, Shelton ID (1996). Effects of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. *Journal of Agricultural Science* 127: 413-421. <https://doi.org/10.1017/S0021859600078576>
- Zeller WE (2019). Activity, purification, and analysis of condensed tannins: Current state of affairs and future endeavors. *Crop Science* 59: 886-904. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0323>
- Zhang H, Tsao R (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science* 8: 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>
- (Aceptado para publicación el 24 de diciembre de 2019)