

**P. González-Redondo, L. Velarde Gómez, L. Guerrero Herrero y
V.M. Fernández-Cabanás**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE DE CONEJO SILVESTRE
(*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*) Y VIABILIDAD DE SU PREDICCIÓN
MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **106** N.º 3 (184-196), 2010

Composición química de la carne de conejo silvestre (*Oryctolagus cuniculus*) y viabilidad de su predicción mediante espectroscopía de infrarrojo cercano

P. González-Redondo*, L. Velarde Gómez, L. Guerrero Herrero y V.M. Fernández-Cabanás

Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Sevilla, Ctra. de Utrera km 1, 41013 Sevilla.

* Autor para correspondencia: Tel. 954 486 449, Fax 954 486 436, E-mail: pedro@us.es

Resumen

En algunos países del entorno mediterráneo existe tradición de consumo de carne de conejo silvestre procedente de la caza. Sin embargo, las características de la canal y de la carne de esta especie cinegética han sido escasamente investigadas. Los objetivos de este estudio fueron analizar la composición química de la carne de conejo silvestre (*Oryctolagus cuniculus algirus*) procedente del sudoeste de la Península Ibérica y estudiar la viabilidad de la puesta a punto de una metodología rápida de análisis para su determinación mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). La carne de conejo silvestre de la subespecie *O. c. algirus* contiene un 23,7% de proteína bruta, 0,2% de grasa bruta, 74,9% de humedad y 1,2% de cenizas. Esta composición difiere de la publicada para conejos domésticos y para conejos silvestres de la subespecie *O. c. cuniculus*, siendo más magra debido a su mayor contenido de proteína y muy inferior valor de grasa. Se obtuvieron modelos basados en la espectroscopía NIR con buena capacidad de predicción para los parámetros proteína y humedad ($r^2 = 0,70$ y ETVC = 0,39%; y $r^2 = 0,73$ y ETVC = 0,38%; respectivamente); mientras que las calibraciones seleccionadas para grasa y cenizas no resultaron ser aceptables.

Palabras clave: *Oryctolagus cuniculus algirus*, conejo silvestre, carne, composición química, NIRS.

Summary

Chemical composition of wild rabbit meat (*Oryctolagus cuniculus*) and viability of its prediction by near infrared spectroscopy

Wild rabbit meat is commonly consumed in many Mediterranean countries. However, the characteristics of the carcass and meat of this game species have been scarcely investigated. This study was aimed at analysing the chemical composition of hunted wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus algirus*) meat from Southern Iberian Peninsula, and studying the viability of a rapid analytical methodology for its determination by near infrared spectroscopy. Meat of the wild rabbit subspecies *O. c. algirus* has 23.7% of crude protein, 0.2% of crude fat, 74.9% of moisture and 1.2% of ash. This composition differed from the values published for domesticated rabbits and for wild rabbits of the *O. c. cuniculus* subspecies, it being leaner due to its higher protein content and its very lower fat content. NIR spectroscopy models obtained displayed a good predictive ability for the estimation of crude protein and moisture contents ($r^2 = 0.70$ and SECV = 0.39%, and $r^2 = 0.73$ and SECV = 0.38%, respectively), while the calibrations selected for crude fat and ash contents were not acceptable.

Key words: *Oryctolagus cuniculus algirus*, wild rabbit, meat, chemical composition, NIRS.

Introducción

En algunos países del entorno mediterráneo, como España, Francia y Portugal, es tradicional el consumo de la carne de los conejos silvestres procedentes de la caza, parte de los cuales son consumidos en el entorno familiar de los cazadores (González-Redondo, 2006; González-Redondo et al., 2007b) y otra parte se comercializa en mercados de abastos (González-Redondo et al., 2007b). Sólo en España se cazan anualmente unos cuatro millones de conejos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). Pese a su importancia, son pocos y fragmentarios los estudios que han caracterizado este producto cárnico (Cambero et al., 1991; Cobos et al., 1995; Slamečka et al., 1997; González-Redondo et al., 2007a; González-Redondo et al., 2008). Por el contrario, las características de la canal y de la carne del conejo doméstico son bien conocidas (revisadas, e.g., en Lebas et al., 1996; Gómez et al., 1998; Hulot y Ouha-youne, 1999; Dalle Zotte, 2000; Combes, 2004). Sin embargo, las características de ambos tipos de conejos son diferentes en lo que respecta a su genética (Branco et al., 2000), medio y modo de vida (Soriguer, 1981; Lebas et al., 1996), método para darle muerte, calidad de la carne (González-Redondo et al., 2007a) y presentación comercial, que en el conejo silvestre es eviscerado y con piel (González-Redondo et al., 2008). Por tanto los conocimientos existentes para el conejo doméstico no son extrapolables al silvestre, e incluso los consumidores los perciben como productos diferenciados (González-Redondo, 2006; González-Redondo et al., 2007b).

El control de calidad de productos animales percederos, como la carne de conejo, por métodos convencionales presenta importantes inconvenientes debido, fundamentalmente, a la destrucción de parte del producto analizado y a la reducida velocidad

de análisis. En este contexto, la tecnología NIRS o Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano (780-2.500 nm) ha demostrado ser una valiosa herramienta en el control de calidad de productos cárnicos para una gran variedad de productos y parámetros (Monin, 1998). Los conocidos atributos de esta técnica, tales como la rapidez, bajo coste, carácter multiproducto y multiatributo, etc., unidos a su capacidad para ser situada en diferentes puntos de la cadena de producción y comercialización, sin necesidad de preparación ni destrucción de la muestra, la sitúan como una candidata idónea para la resolución de problemas ligados al control de calidad y a la autenticación de productos agroalimentarios en general y de productos de origen animal en particular (Garrido et al., 1996). La mayoría de los trabajos publicados sobre el uso de la espectroscopía NIR para la estima de constituyentes mayoritarios en carne se han realizado para porcino y vacuno (Huang et al., 2008). Sin embargo, es posible encontrar referencias bibliográficas relativas al uso de esta tecnología en carnes de otras especies animales, como avestruz (Viljoen et al., 2005), pollo (Abeni y Bergoglio, 2001), cordero (Andrés et al., 2007) y conejo doméstico (Pla et al., 2004 y 2007). A pesar del creciente número de aplicaciones desarrolladas para el análisis de productos cárnicos mediante espectroscopía NIR, no se tiene constancia de ningún trabajo relativo a la carne de conejo silvestre.

Por ello, los objetivos de este trabajo fueron analizar la composición química de la carne del conejo silvestre procedente de la caza que se comercializa en mercados de abastos, compararla con los valores publicados para la carne de conejos domésticos y estudiar la viabilidad de la puesta a punto de una metodología rápida de análisis para su determinación mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS).

Materiales y Métodos

Material animal

Se utilizaron 53 conejos silvestres maduros (49% machos), adquiridos en forma de canal encorabrada (eviscerados y con piel) en mercados de abastos de Sevilla (España) y que procedían de cotos de caza de Andalucía en los que los conejos se cazaron durante el descaste de julio. Mediante análisis de marcadores del cromosoma X (Geraldés et al., 2006), realizados en el Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (Portugal), se determinó su pertenencia a la subespecie *O. c. algirus* típica del sudoeste de la Península Ibérica (Branco et al., 2000).

Manipulación y toma de muestras

Los conejos se conservaron congelados (-20 °C) hasta su manipulación. Una vez descongeladas, las canales encorabradas se pesaron. Tras desollarlas, se realizó un despiece tecnológico de la canal, siguiendo la metodología propuesta por la World Rabbit Science Association (Blasco y Ouhayoun, 1996), del que se reservó para este estudio la pierna derecha de cada conejo, por ser una pieza recomendada como representativa de toda la canal en estudios de calidad de la carne en conejos (Ouhayoun y Dalle Zotte, 1996). Cada pierna se diseccionó para separar la carne del hueso. La carne incluyó la grasa intramuscular, la intermuscular y los tendones. La carne obtenida de cada muestra se homogeneizó picándola manualmente mediante un masticador (3 Claveles®) con objeto de que las submuestras usadas para la realización de los diferentes análisis fueran representativas del conjunto. Unas submuestras se utilizaron para realizar análisis de referencia del contenido de proteína, humedad, grasa y cenizas, y otra se utilizó para la recogida de espectros NIR. La submuestra usada para la recogida de los

espectros NIR se usó para obtener después otros parámetros analíticos no usados en el presente estudio.

Análisis químicos

La composición química de la carne de la pierna se analizó siguiendo las recomendaciones de la World Rabbit Science Association (Ouhayoun y Dalle Zotte, 1996). El contenido de humedad de la carne se determinó mediante el método de secado en estufa, el de cenizas mediante incineración en horno de mufla, el de grasa bruta mediante el método Soxhlet (realizándose una hidrólisis ácida previa de la muestra con ácido clorhídrico 4N y usando éter de petróleo al 37% como disolvente) y el de proteína bruta mediante el método Kjeldahl, expresándose en todos los casos dichos contenidos como porcentaje respecto a la carne fresca (Ouhayoun y Dalle Zotte, 1996; AOAC International, 2005). Como dato de laboratorio, se asignó a cada muestra el valor medio de dos repeticiones de cada medida de proteína bruta, grasa bruta, humedad y cenizas.

Análisis estadísticos

Utilizando el programa SPSS 15.0 (SPSS Inc., 2006), se calcularon los valores medios, la desviación típica y el coeficiente de variación de los parámetros de composición química de la carne. Se calcularon correlaciones de Pearson entre el peso de las canales encorabradas y los parámetros de composición química. Para estudiar la influencia del sexo, se calcularon pruebas t para muestras independientes sobre los parámetros de composición química.

Análisis NIR

Los espectros de reflectancia de las muestras de carne triturada fueron recogidos en

un monocromador Foss-NIRSystems 6500 SY-II (Foss NIRSystems, Silver Spring, MD), en un rango espectral comprendido entre 400 y 2.498 nm, tomando un dato de absorbancia cada 2 nm. El análisis se realizó usando un módulo de transporte. Para la recogida espectral, se utilizó una cápsula rectangular de 4,6 x 5,7 cm. Los datos de absorbancia fueron almacenados como el logaritmo de la inversa de la reflectancia ($\log 1/R$), recojiéndose 1.050 datos por cada muestra. Para la obtención de cada espectro, se mediaron los espectros de dos submuestras, siendo cada subespectro el resultado de mediar 32 espectros consecutivos (16-32-16, referencia-muestra-referencia).

Todos los espectros fueron manipulados y procesados, y todas las ecuaciones de calibración fueron obtenidas usando el programa WINISI versión 1.5 (Infrasoft International, State College, PA).

Se usaron los pretratamientos espectrales Standard Normal Variate (SNV) y Detrending (DT) para corregir los fenómenos relacionados con la radiación dispersa (Barnes et al., 1989). Adicionalmente, se probaron cuatro derivadas espectroscópicas: 1,5,5,1; 2,5,5,1; 1,10,5,1 y 2,10,5,1, donde el primer dígito indica el orden de la derivada, el segundo el intervalo usado para el cálculo de la derivada, el tercero el segmento de suavizado y el cuarto el segmento usado para el segundo suavizado (Shenk et al., 1989). Todas las calibraciones se obtuvieron para los rangos espectrales NIR (1.100-2.498 nm) y visible + NIR (400-2.498 nm). Los modelos de regresión se obtuvieron usando el método de mínimos cuadrados parciales modificados (MPLS). Con este método, los residuales NIR para cada longitud de onda obtenidos después del cálculo de un factor son estandarizados (dividiéndolos por las

desviaciones típicas de los residuales para una longitud de onda) antes de calcular el siguiente factor (Shenk y Westerhaus, 1995). Se obtuvieron diferentes regresiones MPLS para cada uno de los parámetros analíticos estudiados, usando para ello el algoritmo PLS1. Con objeto de determinar el número óptimo de factores en la regresión y, además, evitar el sobreajuste de los modelos, se usó el método de validación cruzada. Durante la validación cruzada, el colectivo de calibración se dividió en cuatro grupos, prediciéndose a continuación cada uno de estos grupos usando la calibración desarrollada con el resto de las muestras. Finalmente, los errores de validación se combinaron para obtener el error típico de validación cruzada (ETVC).

Se desarrollaron calibraciones permitiendo dos pases de eliminación de anómalos (T y H) como máximo antes de completar la calibración final. Los anómalos T son muestras que manifiestan diferencias significativas entre sus valores de laboratorio y los predichos, mientras que los anómalos H son definidos como muestras con espectros muy alejados ($H > 3$) de la media espectral del colectivo de calibración (Shenk y Westerhaus, 1995).

La capacidad de predicción de las regresiones se evaluó examinando los valores obtenidos para los estadísticos de calibración: error típico de calibración (ETC), coeficiente de determinación de calibración (R^2), error típico de validación cruzada (ETVC), coeficiente de determinación de validación cruzada (r^2) y RPD o cociente entre la desviación típica de los datos de laboratorio en el colectivo de calibración y el ETVC (Williams, 2001). El criterio para la selección de las mejores calibraciones se basó en la búsqueda de los valores más altos de RPD y r^2 y valores mínimos de ETVC.

Resultados y discusión

Composición química de la carne de conejo silvestre

Este es el primer estudio que investiga la composición química de la carne de conejo silvestre del sudoeste de la Península Ibérica en el que se conoce la subespecie a la que pertenecen los animales (*O. c. algirus*). El único trabajo previo (Cobos et al., 1995) que ha investigado la composición de la carne de conejo silvestre no especifica la subespecie, aunque probablemente se trataba de *O. c. cuniculus*.

La tabla 1 muestra la composición química de la carne de conejo silvestre obtenida en este estudio. Se encontraron diferencias respecto a los valores publicados para la composición de la pierna tanto en conejos silvestres como en razas y líneas domésticas. En nuestro estudio, se obtuvieron contenidos de humedad y de cenizas similares a los determinados por Cobos et al. (1995) en conejos silvestres españoles, probablemente obtenidos en el centro de la Península Ibérica, aunque en las muestras del presente estudio el contenido de proteína fue mayor (23,71% vs. 21,05%) y el de grasa muy inferior (0,20% vs. 2,26%).

Tabla 1. Composición química de la carne de conejo silvestre determinada mediante los análisis de referencia (n = 53)
 Table 1. Chemical composition of wild rabbit meat determined through reference analyses (n = 53)

Parámetro (%)	Media	DT	Mínimo	Máximo	CV (%)
Proteína	23,71	0,80	21,92	25,78	3,37
Grasa	0,20	0,13	0,10	0,60	65,00
Humedad	74,86	0,86	72,21	76,95	1,15
Cenizas	1,18	0,05	1,08	1,26	4,24

DT: desviación típica; CV: coeficiente de variación.

Una revisión exhaustiva de la literatura sobre la composición química de la carne de la pierna de conejos de razas y líneas domésticas de aptitud cárnica (Dalle Zotte et al., 1996; Pla et al., 1998; Szendro et al., 1998; Pla, 1999; Nizza y Moniello, 2000; Piles et al., 2000; Metzger et al., 2003; Hernández et al., 2004; Lambertini et al., 2004; Pla et al., 2004; Martínez et al., 2005; Lambertini et al., 2006; Pla et al., 2006; Marounek et al., 2007; Pascual y Pla, 2007) confirma que el contenido de humedad de la carne de los conejos silvestres de este estudio (74,86%) es similar al de los domésticos (72,2-75,1%). Lo mismo sucede con el contenido de cenizas

(1,18% silvestres vs. 1,14-1,31% domésticos, op. cit.). Sin embargo, el contenido de proteína de la carne de los conejos silvestres fue mayor que el conocido en los domésticos (23,71% silvestres vs. 19,6-22,5% domésticos, op. cit.). Además, el contenido de grasa de la carne de conejo silvestre fue acusadamente inferior al de los domésticos (0,20% silvestres vs. 0,97-5,11% domésticos, op. cit.). Por tanto, la carne de los conejos silvestres se diferencia de la de los domésticos en que es mucho más magra.

La carne de conejo silvestre analizada en esta investigación fue también más magra que la de conejos silvestres de La Mancha

(centro de la Península Ibérica) investigada por Cambero et al. (1991) usando un homogeneizado de carne de toda la canal. También fue más magra que la encontrada en el músculo *Longissimus dorsi* de conejos silvestres de Eslovaquia (Slamečka et al., 1997), que la descrita en liebre hispida (*Caprolagus hispidus*) de la India (Nath y Rao, 1983) y que la de la liebre europea (*Lepus europaeus*) del norte de la Península Ibérica (Cobos et al., 1995).

El peso de la canal encorrambrada fue de $767,8 \pm 10,9$ g (media \pm ET; CV = 10,4%). Dicho peso no se correlacionó con el contenido de proteína ($r = 0,019$; $P = 0,893$), grasa ($r = -0,219$; $P = 0,115$), humedad ($r = -0,242$; $P = 0,081$) ni cenizas ($r = -0,223$; $P = 0,108$) de la carne. Por el contrario, en conejos de aptitud cárnica se ha constatado la influencia del peso de sacrificio sobre la composición química de la carne (Szendro et al., 1998) pero su discusión respecto a la ausencia de correlación en los conejos silvestres de este estudio plantea dificultades metodológicas porque la mayoría de los estudios en conejos domésticos se realizan sacrificándolos a edades comerciales de entre nueve y 11 semanas, dependiendo de los países (Lebas et al., 1996), mientras que la edad de los conejos silvestres en el momento de cazarlos puede variar desde pocos meses hasta varios años, siendo de pesos heterogéneos al no poder controlarse qué animales que se abaten.

No se encontró influencia del sexo sobre el contenido de proteína ($t = 0,788$; $P = 0,435$), grasa ($t = -0,429$; $P = 0,670$), humedad ($t = -1,043$; $P = 0,670$) ni cenizas ($t = -1,292$; $P = 0,202$) de la carne, confirmando en el conejo silvestre la ausencia de dimorfismo sexual respecto a la composición de la carne ya conocida en razas y líneas domésticas de aptitud cárnica (Dalle Zotte et al., 1996; Szendro et al., 1998).

Las diferencias en la composición química de la carne de los conejos silvestres de este estudio respecto a la de los silvestres investigados por Cobos et al. (1995) y la de los

domésticos pudieran deberse en parte a diferencias genéticas. Los conejos silvestres de este estudio pertenecían a la subespecie *O. c. algirus*, que se distribuye por el sudoeste de la Península Ibérica, mientras que los conejos domésticos y los silvestres del resto de las localizaciones del mundo pertenecen a la subespecie *O. c. cuniculus* (Branco et al., 2000). Son también conocidas las diferencias morfológicas de los animales vivos (Soriguer, 1980) y de las canales encorrambradas (González-Redondo et al., 2008), así como de algunas características de la carne, como el pH y la capacidad de retención de agua (González-Redondo et al., 2007a), entre ambas subespecies. La genética y la selección juegan un papel determinante en la composición de la carne de conejo de razas y líneas domésticas (Lukafahr et al., 1982; Pla et al., 1998; Ortiz y Rubio, 2001), por lo que la mayor distancia genética existente entre los conejos domésticos y los silvestres de este estudio explicaría en parte las diferencias encontradas en la composición de la carne.

Además de las diferencias genéticas, a la diferente composición química de la carne de conejo silvestre deben contribuir otros factores cuyo efecto es bien conocido en conejos domésticos, como la alimentación (Dalle Zotte et al., 1996; Martínez et al., 2005; Marounek et al., 2007) y otros relacionados con el alojamiento y ambiente (Pla, 1999; Metzger et al., 2003; Lambertini et al., 2006), que difieren notablemente entre los conejos silvestres y los domésticos debido a las acusadas diferencias entre el entorno de vida en libertad y el ambiente y manejo en las granjas. En particular, el conejo silvestre está expuesto en libertad a una acusada variación estacional de las reservas corporales y de la composición lipídica de la carne (Cambero et al., 1991) debida a la fluctuación de los recursos tróficos (Soriguer, 1981). De hecho, la grasa fue el parámetro que más variabilidad mostró en nuestro estudio, como también observan Cobos et al. (1995)

en conejos silvestres. El bajo contenido de grasa de la carne de los conejos silvestres de este estudio pudo haber estado propiciado entonces por un agotamiento de las reservas adiposas de los animales, causado por el descenso de la productividad de la vegetación de la que se alimentan en el entorno mediterráneo (Soriguer, 1981), típica de la época estival en que fueron cazados. También en conejos domésticos se conoce que la restricción alimenticia produce una acusada disminución del contenido de lípidos totales de los músculos, hasta el punto de que dicho contenido desciende por debajo del 1% cuando se restringen a un 70% de la ingesta normal (Gondret et al., 2000). Aun así, el contenido de lípidos totales obtenido en el presente estudio es incluso inferior, lo que sugiere el gran interés de realizar más inves-

tigaciones que confirmen la composición química de la carne de la subespecie *O. c. algirus* en condiciones diversas de procedencia geográfica de las piezas, de vegetación presente en la zona y de estación del año.

Características espectrales de la carne de conejo silvestre

La figura 1 muestra los espectros obtenidos a partir del colectivo de calibración de muestras de carne de conejo picada. En la región espectral correspondiente a la radiación visible, es posible observar picos de absorción característicos asociados a pigmentos musculares. En este sentido, los picos situados alrededor de 428, 548 y 576 nm se relacionan en la literatura científica con la absorción de Soret, característica de las porfirinas presen-

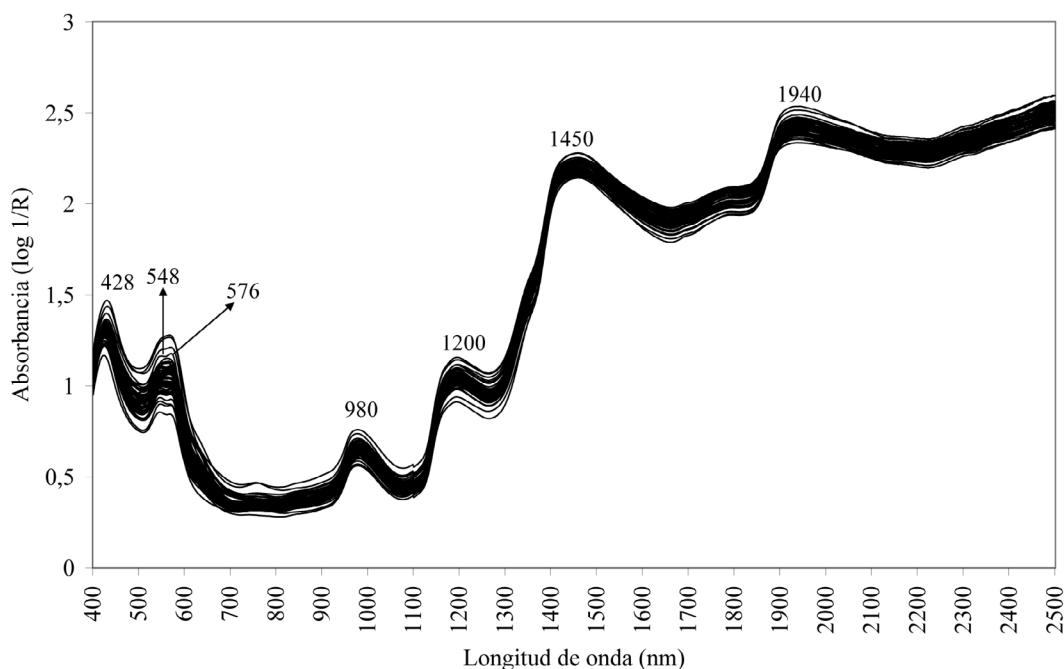


Figura 1. Espectros visible y NIR de las 53 muestras de carne de conejo silvestre utilizadas en el colectivo de calibración.

Figure 1. Visible and NIR spectra of the 53 samples of wild rabbit meat used in the calibration set.

tes en los pigmentos respiratorios; de la hemoglobina (Hb) o mioglobina (Mb) reducidas; y de la oxihemoglobina (HbO₂) u oximioglobina (MbO₂); respectivamente (Mitsumoto et al., 1991; Cozzolino y Murray, 2004).

Los intensos picos localizados a 980, 1.450 y 1.940 nm están relacionados con el segundo sobretono, el primer sobretono de estiramiento y el primer sobretono de flexión del enlace OH; respectivamente, asociándose con el elevado contenido de humedad de las muestras de carne fresca analizadas. Alrededor de los 1.200 nm se localiza otro pico que se podría atribuir al segundo sobretono del enlace CH que, para las muestras estudiadas, correspondería a una de las bandas de absorción de proteína. Los picos clásicos atribuidos a las bandas de absorción características de las grasas no son apreciables a 1.726, 1.760, 2.310 y 2.348 nm, debido al bajo contenido graso de este producto (Williams, 2001).

Ecuaciones de calibración NIRS

Los modelos de regresión desarrollados para cada parámetro analítico y pretratamientos espectrales estudiados se obtuvieron con un máximo de dos pases de eliminación de anomalos. Este límite de pases se estableció en base a la experiencia de los autores en trabajos anteriores (Fernández-Cabanás et al., 2006 y 2007), los cuales demostraron que con los dos primeros pases se podían detectar anomalías consistentes en dos productos diferentes. El número de muestras anómalas detectadas estuvo comprendido entre dos y tres (tabla 2), lo que representa entre un 3,8 y un 5,7% del colectivo inicial de calibración. Este porcentaje de anomalos detectados es similar al obtenido en los trabajos previos anteriormente citados.

Los modelos de regresión MPLS se obtuvieron usando los pretratamientos espectrales

Tabla 2. Estadísticos de calibración para las ecuaciones NIR seleccionadas para la estima de la composición química de la carne de conejo silvestre
Table 2. Calibration statistics for the selected equations obtained for predicting chemical components of wild rabbit meat

Parámetro (%)	N	Rango espectral	Derivada	Media	ETC	R ²	ETVC	r ²	RPD
Proteína	50	Visible+NIR	(2,10,10,1)	23,68	0,24	0,89	0,39	0,70	2,05
Grasa	50	NIR	(2,5,5,1)	0,18	0,08	0,30	0,09	0,13	1,44
Humedad	50	NIR	(1,5,5,1)	74,97	0,23	0,91	0,38	0,73	2,26
Cenizas	51	Visible+NIR	(1,5,5,1)	1,19	0,04	0,27	0,04	0,18	1,25

N: número de muestras usadas para el desarrollo de la calibración; ETC: error típico de calibración; R²: coeficiente de determinación de calibración; ETVC: error típico de validación cruzada; r²: coeficiente de determinación de validación cruzada; RPD: cociente entre la desviación típica de los datos de laboratorio en el colectivo de calibración y el ETVC.

SNV y Detrending junto con una derivada espectroscópica. La tabla 2 muestra los valores de los estadísticos de calibración correspondientes a los mejores modelos seleccionados para la estima de cada uno de los parámetros analíticos estudiados.

La precisión de la ecuación seleccionada para la estima de proteína podría considerarse buena según los criterios de calidad propuestos por Shenk y Westerhaus (1996), presentando un valor de r² de 0,70, un ETVC de 0,39% y un RPD de 2,05. Los resultados

obtenidos por Pla *et al.* (2004) para la estima del contenido proteico de la carne de conejo doméstico fueron ligeramente mejores para el coeficiente de determinación (0,76) y de peor calidad en relación a los valores del ETVC y RPD (0,61% y 1,61; respectivamente). Estas mejoras podrían estar relacionadas con la reducción en el error del método de referencia al mediar los valores analíticos obtenidos para dos submuestras diferentes en el presente trabajo. Comparando estos resultados con los obtenidos para otras especies, encontramos de nuevo valores superiores de r^2 y ETVC (0,87 y 0,64, respectivamente) para carne de avestruz (Viljoen *et al.*, 2005); pechuga de pollo (0,85 y 2,04, respectivamente) (Valdés y Summers, 1986) y carne de buey (0,87 y 18,90, respectivamente) (Prieto *et al.*, 2006). A pesar de estos buenos resultados, la aplicación en rutina de esta calibración no es recomendable, al situarse el valor del estadístico RPD por debajo de 3 (Williams, 2001).

La calibración obtenida para el primer constituyente mayoritario de la carne, la humedad, presentó unos estadísticos de calibración similares a la de proteína. Los valores de r^2 , ETVC y RPD fueron 0,73, 0,38% y 2,26; respectivamente. Comparando nuevamente estos valores con los publicados para conejo doméstico, se observa que el coeficiente de determinación y el error de validación cruzada, así como el ratio RPD para este producto son superiores (0,98, 0,52% y 5,14; respectivamente). Para las otras especies anteriormente comentadas, los valores de r^2 y ETVC fueron de 0,84 y 0,72; y 0,87 y 5,87; para la estima de materia seca en pechuga de pollo y carne de avestruz, respectivamente. El bajo error obtenido en la ecuación para conejo silvestre podría ser explicado nuevamente por el uso de valores medios de los datos de referencia, mientras que los valores más bajos de r^2 y RPD están asociados a la baja variabilidad de este parámetro en el colectivo estudiado. El uso en rutina de

estas calibraciones podría asegurarse incorporando nuevas muestras de carne de conejos procedentes de diferentes regiones y abatidos en diferentes épocas del año, ya que estos factores podrían afectar al contenido proteico de la carne de estos animales, incrementando su variabilidad.

El modelo obtenido para la estima de grasa presentó un ETVC de 0,09%, inferior al publicado para conejo doméstico, si bien el contenido medio para éste es entre 5 y 25 veces superior al silvestre. Sin embargo, los bajos valores de r^2 y RPD (0,13 y 1,44; respectivamente) desaconsejan el uso del modelo de predicción obtenido. Para las otras especies usadas en la discusión, los estadísticos r^2 y ETVC fueron muy superiores: 0,99 y 0,18; 0,78 y 3,26; y 0,92 y 15,96; para carne de avestruz, pechuga de pollo y carne de buey; respectivamente. Estos resultados son consecuencia de los mayores contenidos medios y desviaciones típicas en grasa de estos productos.

La pobre capacidad de predicción obtenida para la estima del contenido en cenizas era esperable debido a que las sustancias minerales no tienen una absorción característica en la región espectral NIR y, además, a la cercanía existente entre los valores del error del método de referencia (0,04%) y la desviación típica para este parámetro en el colectivo de calibración (0,05%). No existen datos bibliográficos referentes a conejos para la discusión de estos resultados, por lo que se debe recurrir a carne de otras especies con similar composición bromatológica, como el avestruz, con valores de r^2 de 0,52 (Viljoen *et al.*, 2005); así como otras carnes con composiciones más dispares, como el vacuno con r^2 de 0,17 (Prieto *et al.*, 2006); o el ovino con r^2 de 0,86 (Viljoen *et al.*, 2007); observándose importantes discrepancias en los estadísticos obtenidos por los diferentes autores. Las discrepancias en los estadísticos citados para la estima del contenido en cenizas de la carne

podrían estar motivadas por la existencia de correlaciones indirectas entre el contenido en minerales y otros compuestos químicos presentes en la carne con absorción significativa en la región NIR. Por ejemplo, el contenido en hierro podría ser estimado a partir del espectro de los pigmentos musculares o sanguíneos que lo contienen.

Conclusiones

La composición química de la carne del conejo silvestre de la subespecie *O. c. algirus* difiere de la de los conejos domésticos y de los silvestres de otras localizaciones geográficas, pertenecientes ambos a la subespecie *O. c. cuniculus*, siendo más magra que la de éstos. Los modelos obtenidos para la estima del contenido en proteína y humedad en carne de conejo silvestre presentan una adecuada capacidad de predicción, aunque se recomienda ampliar los colectivos de calibración con muestras procedentes de piezas abatidas en otras zonas geográficas y épocas del año para aumentar la variabilidad en dicho colectivo. Las calibraciones obtenidas para grasa y cenizas no son aptas para el control de calidad del producto, aunque podrían ser mejoradas con las estrategias anteriormente mencionadas para el incremento de la variabilidad.

Bibliografía

- Abeni F, Bergoglio G, 2001. Characterization of different strains of broiler chicken by carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle. *Meat Sci.* 57:133-137.
- Andrés S, Murray I., Navajas EA, Fisher AV, Lambe NR, Bünger L, 2007. Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Sci.* 76: 509-516.
- AOAC International, 2005. Official methods of analysis. Ed. AOAC International. Gaithersburg, EE.UU. 18ª edición.
- Barnes RJ, Dhanoa MS, Lister SJ, 1989. Standard Normal Variate transformation and De-trending of near infrared diffuse reflectance spectra. *Appl. Spectrosc.* 43: 772-777.
- Blasco A, Ouhayoun J, 1996. Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Sci.* 4: 93-99.
- Branco M, Ferrand N, Monnerot M, 2000. Phylogeography of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in the Iberian Peninsula inferred from RFLP analysis of the cytochrome b gene. *Heredity* 85: 307-317.
- Cambero MI, De La Hoz L, Sanz B, Ordóñez JA, 1991. Seasonal variations in lipids composition of Spanish wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) meat. *J. Sci. Food Agric.* 56: 351-362.
- Cobos A, De La Hoz L, Cambero MI, Ordóñez JA, 1995. Chemical and fatty acid composition of meat from Spanish wild rabbits and hares. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 200: 182-185.
- Combes S, 2004. Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *Prod. Anim.* 17: 373-383.
- Cozzolino D, Murray I, 2004. Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy. *LWT- Food Sci. Technol.* 37: 447-452.
- Dalle Zotte A, 2000. Main factors influencing the rabbit carcass and meat quality. 7th World rabbit Congress, Valencia, España, vol. A, pp. 507-537.
- Dalle Zotte A, Ouhayoun J, Parigi Bini R, Xiccato G, 1996. Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and related physicochemical traits in the rabbit. *Meat Sci.* 43: 15-24.
- Fernández-Cabanás VM, Garrido A, García-Olmo J, De Pedro E, Dardenne P, 2007. Optimisation of the spectral pre-treatments used for Iberian pig fat NIR calibrations. *Chemometrics Intell. Lab. Syst.* 87: 104-112.
- Fernández-Cabanás VM, Garrido A, Pérez-Marín D, Dardenne P, 2006. Evaluation of pretreatment strategies for near-infrared spectroscopy.

- copy calibration development of unground and ground compound feedingstuffs. *Appl. Spectrosc.* 60: 17-23.
- Garrido A, Gómez A, Guerrero JE, Fernández V, 1996. NIRS: Una tecnología de apoyo para un servicio integral en Alimentación Animal. En: *Avances en Alimentación y Nutrición Animal*. De Blas, C., Mateos, G.G. and Rebollar, P. (eds.). FEDNA. Madrid, España. pp. 275-300.
- Geraldes A, Ferrand N, Nacham MW, 2006. Contrasting patterns of introgression at X-linked loci across the hybrid zone between subspecies of the European Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Genetics* 173: 919-933.
- Gómez EA, Baselga M, Rafel O, Ramon J, 1998. Comparison of carcass characteristics in five strains of meat rabbit lines selected on different traits. *Livest. Prod. Sci.* 55: 53-64.
- Gondret F, Lebas F, Bonneau M, 2000. Restricted feed intake during fattening reduces intramuscular lipid deposition without modifying muscle fiber characteristics in rabbits. *J. Nutr.* 130: 228-233.
- González-Redondo P, 2006. Motivaciones de la ausencia de consumo de carne de conejo en una población de estudiantes universitarios. XXXI Symposium de Cunicultura, Lorca, España, pp. 157-163.
- González-Redondo P, Camacho T, Alcalde MJ, 2007a. Capacidad de retención de agua y pH de la carne de conejos de monte procedentes de la caza. II Congreso Ibérico de Cunicultura, Vila Real, Portugal, pp. 3-8.
- González-Redondo P, Payá-López R, Delgado-Núñez A, 2007b. Comparación de los hábitos de consumo de carne de conejo entre consumidores jóvenes y compradores tradicionales de Sevilla. IV Jornadas Ibéricas de Razas Autóctonas y sus Productos Tradicionales: Innovación, seguridad y cultura alimentaria, Sevilla, España, pp. 275-281.
- González-Redondo P, Ramírez-Reina MC, González-Sánchez C, 2008. Caracterización de las piezas de conejos de monte comercializadas en mercados de abastos. XXXIII Symposium de Cunicultura, Calahorra, España, pp. 32-35.
- Hernández P, Aliaga S, Pla M, 2004. The effect for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits. *J. Anim. Sci.* 82: 3138-3143.
- Huang H, Yu H, Xu H, Ying Y, 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. *J. Food Eng.* 87: 303-313.
- Hulot F, Ouhayoun J, 1999. Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Sci.* 7: 15-36.
- Lambertini L, Vignola G, Badiani A, Zaghini G, Formigoni A, 2006. The effect of journey time and stocking density during transport on carcass and meat quality in rabbits. *Meat Sci.* 72: 641-646.
- Lambertini L, Vignola G, Beone GM, Zaghini G, Formigoni A, 2004. Effects of chromium yeast supplementation on growth performances and meat quality in rabbits. *World Rabbit Sci.* 12: 33-47.
- Lebas F, Coudert P, De Rochambeau H, Thébault RG, 1996. *El conejo. Cría y patología*. Ed. FAO. Roma.
- Lukefahr S, Hohenboken WD, Cheeke PR, Patton NM, Kennick WH, 1982. Carcass and meat characteristics of Flemish Giant and New Zealand White purebred and terminal-cross rabbits. *J. Anim. Sci.* 54: 1169-1174.
- Marounek M, Skrivanova V, Dokoupilova A, Czauderna M, Berladyn A, 2007. Meat quality and tissue acid profiles in rabbit fed diets supplemented with conjugated linoleic acid. *Vet. Med.* 52: 552-561.
- Martínez M, Motta W, Cervera C, Pla M, 2005. Feeding mulberry leaves to fattening rabbits: effect on growth, carcass characteristics and meat quality. *Anim. Sci.* 80: 275-281.
- Metzger S, Kustos K, Szendro Z, Szabó A, Eiben C, Nagy I, 2003. The effect of housing system on carcass traits and meat quality of rabbit. *World Rabbit Sci.* 11: 1-11.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2008. Anuario de Estadística <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/2008/indice.asp>

- Mitsumoto M, Maeda S, Mitsuhashi T, Ozawa S, 1991. Near infrared spectroscopy determination of physical and chemical characteristics in beef cuts. *J. Food Sci.* 56, 1493-1496.
- Monin G, 1998. Recent methods for predicting quality of whole meat. *Meat Sci.* 49 (suppl. 1): 231-243.
- Nath DR, Rao PLN, 1983. Comparative on the proximate composition of domestic and wild rabbit meat. *Cheiron-Tamil Nadu Journal of Veterinary Science and Animal Husbandry* 12: 75-80.
- Nizza A, Moniello G, 2000. Meat quality and caecal content characteristics of rabbit according to dietary content and botanical origin of starch. *World Rabbit Sci.* 8: 3-9.
- Ortiz JA, Rubio MS, 2001. Effect of breed and sex on rabbit carcass yield and meat quality. *World Rabbit Sci.* 9: 51-56.
- Ouhayoun J, Dalle Zotte A, 1996. Harmonization of muscle and meat criteria in rabbit meat research. *World Rabbit Sci.* 4: 211-218.
- Pascual M, Pla A, 2007. Changes in carcass composition and meat quality when selecting rabbits for growth rate. *Meat Sci.* 77: 474-481.
- Piles M, Blasco A, Pla M, 2000. The effect of selection for growth rate on carcass composition and meat characteristics of rabbits. *Meat Sci.* 54: 345-355.
- Pla M, 1999. Carcass and meat quality of growing rabbits under high ambient temperature using high fat diets. Ed: Testik A. (ed), Baselga M. (ed.). 2nd International Conference on rabbit production in hot climates. CIHEAM-IAMZ. Adana (Turquía). *Cahiers Options Méditerranéennes* 41:93-98.
- Pla M, Guerrero L, Guardia D, Oliver MA, Blasco A, 1998. Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. Between lines comparison. *Livest. Prod. Sci.* 54: 115-123.
- Pla M, Hernández P, Ariño B, Ramírez JA, Díaz I, 2007. Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology. *Food Chem.* 100: 165-170.
- Pla M, Martínez M, Cervera C, 2006. Growth, carcass characteristics and meat quality of rabbits given maize ears or maize plant. *Anim. Sci.* 82: 731-737.
- Pla M, Pascual M, Ariño B, 2004. Protein, fat and moisture content of retail cuts of rabbit meat evaluated with NIRS technology. *World Rabbit Sci.* 12: 149-158.
- Prieto N, Andrés S, Giráldez FJ, Mantecón AR, Lavin P, 2006. Potential use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the estimation of chemical composition of oxen meat samples. *Meat Sci.* 74: 487-496.
- Shenk JS, Westerhaus MO, 1995. Analysis of Agriculture and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Monograph. 12101 Tech Road, Silver Spring, MD 20904, USA: NIRSystems, Inc.
- Shenk JS, Westerhaus MO, 1996. Calibration the ISI way. En: A. M. C. Davies & P. C. Williams, Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves. Chichester, UK: NIR Publications. pp. 198-202.
- Shenk JS, Westerhaus MO, Abrams SM, 1989. Protocol for NIR calibrations: Monitoring analysis results and recalibration. En: G. C. Martens, J. S. Shenk & F. E. Barton II, Near Infrared Spectroscopy (NIRS): Analysis of Forage Quality. USDA-ARS Agriculture Handbook, n° 643, pp. 104-110. Washington, DC: US Government Printing Office.
- Slamečka J, Mojto J, Palanská O, Hell P, 1997. Charakteristika kvality masa kralika diveho. *Folia Venatoria* 26-27: 73-77.
- Soriguer RC, 1980. El conejo, *Oryctolagus cuniculus* (L) en Andalucía Occidental: Parámetros corporales y curva de crecimiento. *Doñana, Acta Vertebrata* 7: 83-90.
- Soriguer RC, 1981. Biología y dinámica de una población de conejos (*Oryctolagus cuniculus*, L.) en Andalucía Occidental. *Doñana, Acta Vertebrata*, 8(3), 379 pp.
- SPSS Inc, 2006. Manual del Usuario de SPSS Base 15.0. SPSS Inc. Chicago, EE.UU.
- Szendro Z, Radnai I, Biró-Nemeth E, Romvári R, Milisits G, Kenessey A, 1998. The effect of live

- weight on the carcass traits and the chemical composition of meat of Pannon White rabbits between 2.2 and 3.5 kg. *World Rabbit. Sci.* 6: 243-249.
- Valdes EV, Summers JD, 1986. Determination of crude protein and fat in carcass and breast muscle samples of poultry by near infrared reflectance spectroscopy. *Poult Sci*, 65: 485-490.
- Viljoen M, Hoffman LC, Brand TS, 2005. Prediction of the chemical composition of freeze dried ostrich meat with near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Sci.* 69: 255-261.
- Viljoen M, Hoffman LC, Brand TS, 2007. Prediction of the chemical composition of mutton with near infrared reflectance spectroscopy. *Small Rumin. Res.* 69: 1-3.
- Williams PC, 2001. Implementation of near-infrared technology. En: P.C. Williams & K.H. Norris. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. St. Paul, Minnesota: AACC, Inc. pp. 145-171.

(Aceptado para publicación el 5 de febrero de 2010)