

Predicción del índice de Reposición en Montanera para la clasificación de canales de cerdo Ibérico según régimen alimenticio mediante el análisis no destructivo por Espectroscopia del Infrarrojo Cercano

Emiliano De Pedro Sanz; Antonio Serrano Crespín; Eduardo Zamora Rojas; Ana Garrido Varo; José Emilio Guerrero Ginel; Dolores Pérez Marín; Juan García Casco; Nieves Nuñez

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los productos del cerdo ibérico, principalmente los relacionados con sistemas de producción extensivos en la dehesa, tienen una alta reputación tanto en mercados nacionales como internacionales dada su calidad nutricional y organoléptica, así como la imagen de sistema productivo tradicional y sostenible. No obstante, desde finales de los ochenta y principio de los noventa, la producción de cerdo Ibérico deja de estar basada en el binomio tradicional "cerdo ibérico-dehesa", apareciendo otros sistemas productivos intensivos en nave o campo, que se fundamentan en la utilización de piensos compuestos en vez de los recursos naturales de las dehesa para el engorde final de los animales, obteniéndose en ellos productos con unas calidades inferiores. Este panorama se traduce en la legislación española en la Norma de Calidad del Cerdo Ibérico (BOE, 2007), extendida hasta 2013 (Orden ARM/2139/2010), que entre diversos aspectos clasifica los animales en cuatro categorías comerciales según régimen alimenticio y sistema productivo ("Bellota", "Recebo", "Cebo de Campo" y "Cebo"). Dicha normativa está siendo ampliamente discutida en la actualidad por los agentes del sector del cerdo Ibérico, estando previsto aprobarse una nueva reglamentación que evite los defectos de control establecidos en la Orden ARM/2139/2010 (BOE, 2007). Las distintas propuestas, que el sector y gobiernos regionales han realizado, tienen en común varios puntos que van desde la mejora de la trazabilidad y los controles de los productos certificados hasta la simplificación de las categorías comerciales, variando algunos aspectos técnicos de los actuales requisitos que establece la Norma (ASICI, 2012).

Diversos trabajos han mostrado las diferencias en composición de grasa y músculo de los cerdos ibéricos según haya sido la alimentación recibida en su etapa final de engorde, antes de ser sacrificado. No obstante, como señalan Garrido-Varo et al. (2004), la costosa y

laboriosa naturaleza de los procedimientos implicados es uno de las principales hándicaps, tanto del sistema vigente de inspección en campo como de muchos de estos sistemas novedosos de certificación.

La industria del cerdo Ibérico necesita métodos fiables, rápidos y de bajo coste para el control de calidad de estos animales y sus productos derivados y, en este sentido, la tecnología de la Espectroscopia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) ofrece ventajas importantes para ser aplicada en el control de calidad y trazabilidad de canales y productos del cerdo Ibérico (Garrido y De Pedro, 2007). Entre ellas cabe destacar:

- ✓ Su rapidez de respuesta de resultados, en cuestión de segundos
- ✓ Mínima o nula preparación de muestra para el análisis, al poderse hacer determinaciones en producto intacto
- ✓ Versatilidad al poder determinar diversos componentes simultáneamente
- ✓ Flexibilidad, al poderse aplicar a todo tipo de productos
- ✓ Reducido coste analítico por muestra en análisis de rutina frente a otras técnicas analíticas convencionales.

Además, los avances en instrumentación NIRS han permitido el desarrollo de una amplia variedad instrumental que va desde equipos de alta resolución de laboratorio a equipos portátiles y de reducido tamaño.

La aplicación y fiabilidad de la tecnología NIRS ha sido puesta de manifiesto en diversos trabajos. El análisis de muestras fundidas de grasa, de tejido adiposo subcutáneo de forma intacta o, incluso, animales in vivo junto, con el uso de distintos algoritmos matemáticos han mostrado ampliamente su potencial tanto para predecir la composición de los cuatro principales ácidos grasos (oleico, palmítico, esteárico y linoleico) (De Pedro et al., 1992; García-Olmo et al., 2001; González-Martín et al., 2002, 2003; Garrido-Varo et al., 2004; Fernández-Cabanás et al., 2007; Pérez-Marín et al., 2007, 2009 y 2010, Zamora-Rojas et al., 2013) como para clasificar según régimen alimenticio utilizando la información espectral "per se" (Hervás et al., 1994; De Pedro et al., 1995; García-Olmo et al., 2009; Arce et al., 2009; Zamora-Rojas et al., 2012).

En el presente estudio se ha evaluado el uso de la tecnología NIRS para la clasificación de canales de cerdo Ibérico, diferenciando los productos que se obtienen de animales alimentados exclusivamente con bellota y pasto de la dehesa, de los que lo han sido total o parcialmente alimentados con pienso compuesto, a partir del análisis no destructivo de muestras de tejido adiposo subcutáneo. Para ello, se han desarrollado y

evaluado modelos NIRS multivariantes cuantitativos basados en la predicción del peso vivo repuesto con recursos naturales de la dehesa (bellota y pasto) durante el último periodo de engorde previo al sacrificio (Índice de Reposición en Montanera (IRM)). Para el desarrollo de dichos modelos se ha utilizado un amplio colectivo de muestras procedentes de cerdos Ibéricos alimentados en distintas modalidades de producción (montaneras de distinta localización geográfica, duración y campaña, montaneras combinadas con cantidades variables de reposición con piensos comerciales y engrasados, animales cebados en parques y naves alimentados con piensos comerciales y engrasados).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Animales

El estudio se llevó a cabo en tres campañas de montanera (2008/2009, 2009/2010 y 2010/2011), evaluando durante este periodo un total de 702 animales.

Los animales de cada lote se clasificaron de acuerdo con las categorías establecidas en la norma de calidad de los productos de cerdo ibérico (Real Decreto 1469/2007, BOE, 2007): Bellota, Recebo, Cebo de Campo y Cebo. Las muestras de grasa subcutánea (300 g aproximadamente) se tomaron de las canales, en la zona recomendada en la ORDEN PRE/3844/2004 (BOE, 2004).

Los animales de cada lote tuvieron el mismo manejo y régimen de alimentación; eran de raza ibérica pura salvo en algunos lotes (indicados en las tablas) que fueron cruzados con duroc al 50%. Los animales de cada lote fueron sacrificados el mismo día en el mismo matadero.

En las Tablas 1, 2 y 3 se describen los lotes experimentales de cada campaña.

Tabla 1.- Descripción y número de animales de las partidas analizadas (campaña 2008/09)

Cebo	CE08-1	Fuente Obejuna (Córdoba)	Cruzados con Duroc (50%). Cebo en corrales. Piensos no engrasados.	32
Campo	CA08-1	Olivenza (Badajoz)	Bajo consumo de hierba. Piensos engrasados (1). Sacrificio antes de noviembre.	12
Campo	CA08-2	Valdesequera (Badajoz)	Consumo de hierba de cercas sin encinas. Piensos no engrasados.	23
Campo	CA08-3	Valdesequera (Badajoz)	Consumo de hierba de cercas con encinas. Reposición de bellota por debajo de la categoría de recebo (29 kg). Piensos no engrasados.	39
Recebo	R08-1	Torrecampo (Córdoba)	Escasez final de bellota. Suministro de pienso para finalizar el cebo. Reposición en bellota pura muy alta (44 kg).	28
Recebo	R08-2	Valdesequera (Badajoz)	Montanera de 60 días de duración. Reposición por debajo de la categoría de bellota (40 kg). Sin pienso después de la bellota.	12
Bellota	B08-1	Ciudad Rodrigo (Salamanca)	Cerdas castradas antes de la montanera. Sacrificadas con peso comercial bajo (149 kg).	25
<i>Bellota</i>	B08-2	Cabeza la Vaca (Badajoz)	Zona de sierra, manejo extensivo. Reposición en bellota pura muy alta (> 46 kg).	32
TOTAL				203

(1) Piensos con grasas vegetales de alto contenido en ácido oleico

Tabla 2.- Descripción y número de animales de las partidas analizadas (campaña 2009/10)

Categoría	Código	Localización	Descripción e incidencias	Nº
<i>Cebo</i>	CE09-1	Alburquerque (Badajoz)	Cruzados con Duroc (50%). Cebados en corrales Alimentación líquida no engrasada.	24
<i>Campo</i>	CA09-1	Olivenza (Badajoz)	Bajo consumo de hierba. Cebo con piensos engrasados (1).	24
<i>Campo</i>	CA09-2	Valdesequera (Badajoz)	Consumo de hierba de cercas sin encinas. Cebo con piensos no engrasados.	25
<i>Campo</i>	CA09-3	Valdesequera (Badajoz)	Consumo de hierba de cercas sin encinas. Cebo con piensos engrasados (1)	25
<i>Recebo</i>	R09-1	Valdesequera (Badajoz)	Reposición de bellota pura superior a la Norma (30,5 kg).	24
<i>Recebo</i>	R09-2	Valdesequera (Badajoz)	Bellota con aporte de pienso diario. Reposición de 55 kg. Sistema no contemplado en la Norma.	25
<i>Bellota</i>	B09-1	Fuente Obejuna (Córdoba)	Reposición por encima de la Norma (57,5 kg).	24
<i>Bellota</i>	B09-2	Valdesequera (Badajoz)	Reposición por debajo de la Norma (41 kg). Mantiene la categoría de bellota.	29**
TOTAL				200

(1) Piensos con grasas vegetales de alto contenido en ácido oleico. ** Sólo se analizaron 25 animales

Tabla 3.- Descripción y número de animales de las partidas analizadas (campaña 2010/11)

Categoría	Código	Localización	Descripción e incidencias	Nº
<i>Cebo</i>	CE10-1 CE10-2	Valdesequera (Badajoz)	2 partidas Cebo con piensos engrasados (1). Pensos diferenciados en nivel de proteína.	5+8
<i>Cebo</i>	CE10-3	Salvaleón (Badajoz)	Cruzados con Duroc. Cebo en corrales. Pensos no engrasados.	14
<i>Cebo</i>	CE10-4	Topas (Salamanca)	Cruzados con Duroc. Pensos engrasados (1). Consumo de hierba en cercas.	24
<i>Cebo</i>	CEIO-5	Fuente Obejuna (Córdoba)	Cruzados con Duroc. Cebo en corrales. Cebo con Pensos no engrasados.	22
<i>Campo</i>	CA10-1	Fuente de Cantos (Badajoz)	Cruzados con Duroc. Consumo de hierba de cercas con encinas. Muy bajo consumo de bellota Cebo con piensos engrasados (1).	21
<i>Campo</i>	CA10-2	Olivenza (Badajoz)	Consumo de hierba. Cebo con Pensos engrasados (1).	24
<i>Recebo</i>	R10-1	Valdesequera (Badajoz)	Montanera: 30 días. Reposición por debajo de la Norma (29kg). No consumieron pienso después de la montanera	7
<i>Recebo</i>	RIO-2	Cabeza la Vaca (Badajoz)	Manejo extensivo con baja ingestión de bellota Alimentación con productos de almazara.	11 (*)
<i>Recebo</i>	R10-3	Fuente de Cantos (Badajoz)	Reposición según requisitos de Norma de Calidad.	19
<i>Recebo</i>	R10-4 R10-5	Valdecaballeros y Monesterio (Badajoz)	2 partidas. Control por D.O. Dehesa de Extremadura.	20+1 1
<i>Bellota</i>	B10-1 B10-2	Valdesequera (Badajoz)	1 partida con reposición 66 kg. 1 partida con reposición de 52 kci.	13+1 6
<i>Bellota</i>	B10-3 B10-4	Valdesequera (Badajoz)	1 partida con reposición 61 kg (60 días mont.). 1 partida con reposición 97 kg (90 días mont.).	2x8
<i>Bellota</i>	B10-5 -B10-10	Provincia de Badajoz	6 partidas. Control por D.O. Dehesa de Extremadura.	4x14 1x12 1x11
TOTAL				299

(1) Pensos con grasas vegetales de alto contenido en ácido oleico. * Muestras no analizadas por NIR

2.2. Índice de reposición del cerdo Ibérico en montanera (IRM)

En este trabajo se ha establecido un índice indicador de la reposición de peso de los animales según la alimentación recibida, previamente al sacrificio. Éste índice, que se ha denominado índice de Reposición en Montanera (IRM), expresaría la reposición del animal durante su última fase de engorde a base de los recursos naturales propios del ecosistema

agro-silvo-pastoral de la dehesa (bellota y pastos). El IRM fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$IRM = \frac{PF - PE}{F} - \frac{P}{F}$$

donde

- PF es el peso vivo final del animal (kg)
- PE es el peso vivo de entrada en montanera (kg)
- P es la cantidad estimada de peso repuesto en base al pienso consumido por el animal (kg)
- F es un factor de conversión (F = 11,5 kg; valor asociado tradicionalmente a una arroba)

Se asignó un valor de IRM = 0 a aquellos animales procedentes de artidas engordadas exclusivamente con enso, tanto en intensivo ("Cebo") como en extensivo ("Cebo de Campo"), aunque ceden haber tenido acceso a pasto, con excepción de los animales incluidos en la partida CA08-3, de los que se tenía información individualizada de reposición y consumo de pienso. Ésta era una partida inicialmente destinada a recebo y que, por no llegar a los requerimientos de la norma, se calificó finalmente como "Cebo de Campo".

De todas las muestras que conformaron el colectivo (702 muestras) sólo se emplearon para la determinación del IRM y posterior desarrollo de los modelos cuantitativos aquéllas que procedían de animales en los que se tenían un estricto conocimiento del consumo de pienso y/o bellota, por lo que el colectivo de trabajo se ha reducido a 502 muestras.

Para la clasificación de los cerdos en base a la alimentación se han considerado las tres categorías ("Bellota", "Recebo" y "Cebo"), ya que el "Cebo de Campo", contemplado en la Norma de Calidad (Real Decreto 1469/2007, 2007) se agrupó junto con los animales de "Cebo".

Debido a que el IRM es un indicador cuantitativo resulta imprescindible establecer unos límites de corte. En base a nuestra experiencia, basada en el seguimiento y control de partidas con muy diversos sistemas de engorde (De Pedro, 2001), los datos proporcionados por personal cualificado de campo y los criterios legislativos vigentes en el momento de realizar el experimento, se fija un valor 4 para la categoría "Bellota", lo cual se correspondería con una reposición del animal en montanera 46 kg (mínima reposición en montanera que establece la Norma de Calidad del cerdo ibérico). En el caso del Recebo, se

fija el corte en un valor de IRM de 2, de forma que un valor de IRM entre 2 y 4 correspondería a la categoría "Recebo". Por último, valores de IRM inferiores a 2 serían clasificados como "Cebo". La figura 1 sintetiza la metodología general empleada para la clasificar las canales objeto de estudio.

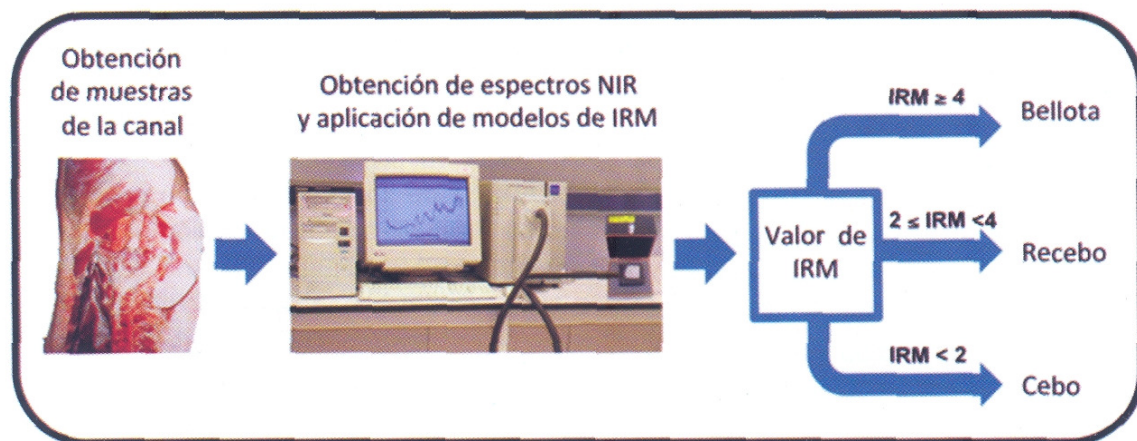


Figura 1. Diagrama de la metodología seguida para evaluar el régimen de alimentación de cerdos ibéricos por el Índice de Reposición en Montanera, estimado a partir de la información espectral de tejido adiposo subcutáneo

2.3. Análisis por Espectroscopía del Infrarrojo Cercano

Para el análisis espectral no destructivo, de las muestras de tejido adiposo subcutáneo, se utilizó un espectrofotómetro FOSS NIRSystems 6500 (FOSS-NIRSystems Inc., Silver Spring, MD, USA). El análisis NIRS fue realizado en modo de reflectancia mediante un sonda de fibra óptica para las longitudes de onda entre 400 y 2498 nm con una resolución espectral de 2 nm. La sección transversal sin piel del tejido adiposo subcutáneo fue analizada por duplicado para cada muestra, girando le misma 180° entre cada análisis.

La recolección de los datos SE realizó con el software WinISI II ver 1.5 (Infrasoft International, Port Matilda, PA USA).

2.4. Análisis multivariante de los datos: Selección de muestras, desarrollo, validación y aplicación del modelo.

Análisis de la repetibilidad de la señal espectral

Antes de obtener el espectro promedio representativo de cada muestra se eliminaron aquellas muestras cuyos espectros presentaron valor del estadístico RMS (Root Mean

Squared) superior al valor límite establecido por Zamora-Rojas et al. (2012) para el instrumento utilizado en este estudio. En concreto para el rango de longitudes de onda entre 450-2208nm (una vez eliminados zonas con un bajo ratio entre la señal y el ruido) el límite estaba en $5.012 \mu\log(1/R)$.

Análisis del colectivo de muestras y detección de anomalos

La detección de muestras espectralmente anómalas fue realizada mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA, Principal Component Analysis), siguiendo la metodología detallada por De Pedro et al. (2013)

Definición del colectivo de calibración y validación interna y externa.

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente los grupos de calibración (C), validación interna (VI) y validación externa (VE).

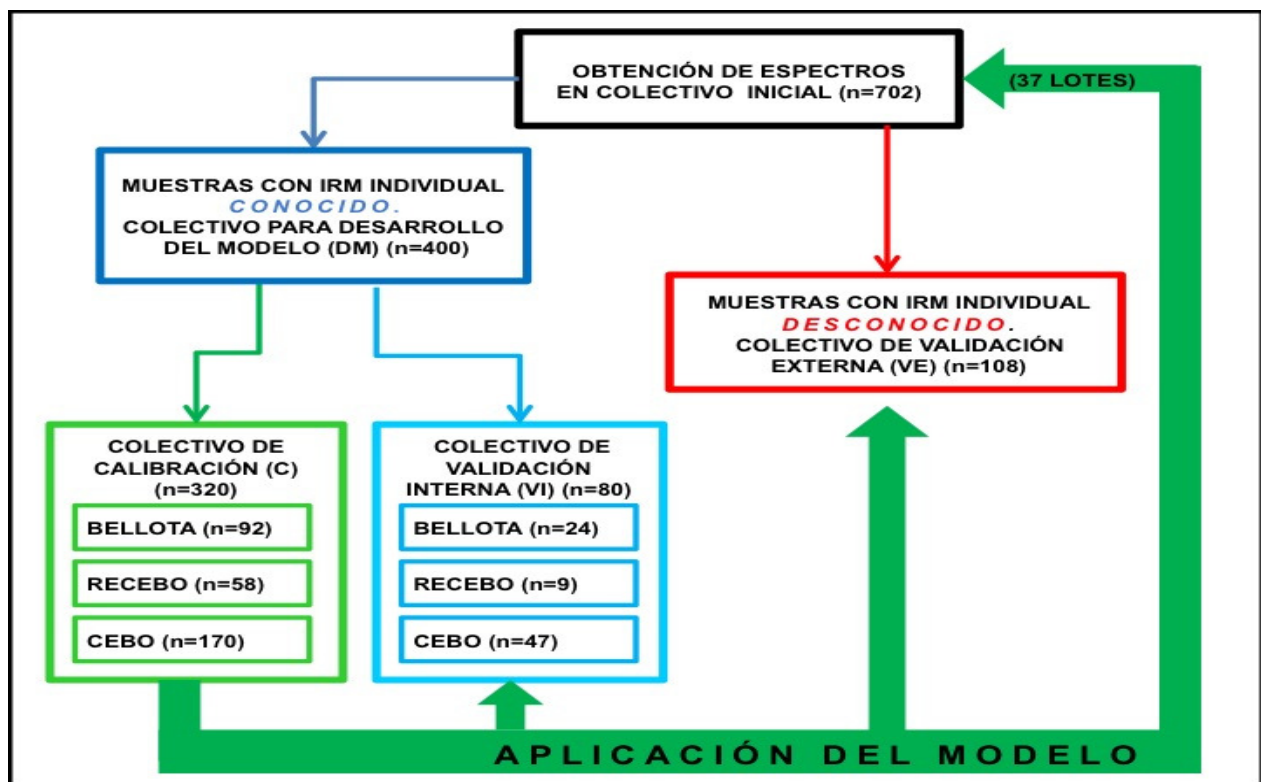


Figura 2. Esquema de selección de muestras para desarrollar el modelo de estimación del IRM por tecnología NIRS en tejido adiposo, para la determinación del régimen de alimentación de cerdos ibéricos.

Los dos primeros grupos se utilizaron para el desarrollo de modelos de predicción de IRM (DM) y el

de validación externa (VE) para la evaluación de los mismos, teniendo en cuenta que hubiera un número equilibrado de muestras representativas de cada tipo de pienso (comercial, engrasado y especial) y sistema de producción (intensivo y extensivo).

Una vez configurado el colectivo de muestras DM, éste se dividió en los conjuntos de calibración (C) y validación interna (VI). La selección de muestras se hizo en base a la distancia Mahalanobis al centro de la población, con el algoritmo CENTER (Shenk & Westerhaus, 1991); el colectivo VI fue constituido por un 20 % de muestras del colectivo total en el cual se incluían muestras de los distintos tipos de alimentación recogidos en la Norma de Calidad ("Bellota", "Recebo", "Cebo de Campo" y "Cebo") procedentes de las 3 campañas objeto de estudio (2009-2010, 2010-2011 y 2011-2012).

Desarrollo y evaluación de modelo cuantitativos

El desarrollo de modelos cuantitativos para la predicción del índice de reposición del cerdo Ibérico en montanera (IRM) se encuentra detallado por De Pedro et al. (2013). El modelo seleccionado fue aquel que proporcionó los mejores porcentajes de muestras correctamente clasificadas en el colectivo de validación interna (VI) con cada una de las categorías en base a la información de campo de cada partida.

Validación externa de modelos cuantitativos

Una vez seleccionado y validado internamente el mejor modelo cuantitativo para el parámetro IRM se procedió a su validación externa mediante la predicción en el colectivo de validación externa (VE; constituido por 108 muestras correspondientes a 6 partidas (2 por cada régimen alimenticio) controladas por el personal cualificado (CA10-2, CE10-5, R10-3, R10-4, B10-5, B10-10) (Tabla 3) y no utilizadas en el desarrollo de la aplicación. Dicha validación se realizó en base a la información de campo de la categoría comercial del lote o partida a la que pertenecen, ya que no se disponía de datos individualizados de peso vivo repuesto en base a bellota y pasto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Selección de los colectivos de muestras

Tal como se ha indicado en el apartado de Material y Métodos, se descartaron primeramente aquellas muestras que procedían de animales de los que no se podía

establecer estrictamente el consumo de pienso y/o bellota, por lo que el colectivo inicial de 702 muestras se redujo a 502. A continuación, se descartaron aquellas muestras que tenían una repetibilidad espectral baja y por último, las muestras con espectros anómalos, por lo que el colectivo de muestras de trabajo se redujo a 453. Antes de proceder al desarrollo de los modelos de predicción NIRS del Índice de Reposición en Montanera (IRM), se equilibró el número de muestras de cada categoría, debido al elevado número de muestras de la categoría Cebo, tras este equilibrado el colectivo de trabajo quedó reducido a 400 muestras (colectivo DM); 116 de la categoría Bellota, 67 de la categoría Recebo y 217 de la categoría Cebo. Además del colectivo DM para el desarrollo del modelo de predicción del IRM, se seleccionó un segundo colectivo de validación constituido por lotes que no se habían utilizado en el desarrollo de los modelos (colectivo DM). Para ello, se emplearon 108 muestras (colectivo VE) de lotes de animales procedentes de la última campaña (2010/2011) y que, aunque no se conocía de forma estricta el consumo de pienso y/o bellota de cada animal, los lotes de Recebo y Bellota procedían de partidas monitorizadas y clasificadas por personal técnico de Denominación de Origen Protegida (DOP).

El desarrollo del modelo de predicción implica dos etapas: una la "calibración" (C), que consiste en el cálculo del mejor modelo de estimación del parámetro a predecir y otra la "validación interna" (VI) que consiste en comprobar, con muestras de los lotes experimentales con los que se ha realizado la calibración, aunque no empleados en el desarrollo del mismo, que la estimación del parámetro objeto de estudio se ajusta a los valores conocidos de esas muestras.

La tabla 4 muestra la estructura del colectivo de calibración (C) y validación interna (VI) tras haber ordenado el colectivo DM mediante el algoritmo CENTER, quedando ambos colectivos estructurados de la siguiente forma: Calibración 320 muestras (Bellota 92, Recebo: 58 y Cebo 170) y Validación Interna 80 (Bellota 24, Recebo 9 y Cebo 47).

Tabla 4. Distribución de muestras de los colectivos de calibración (C) y validación interna (VI) y valores del IRM de cada colectivo

Campaña	Colectivo de calibración (C) (n=3201)			Colectivo de Validación Interna (VI) (n=80)				
	Bellota	Recebo	Cebo	Bellota	Recebo	Cebo		
2008-2009	39	32	67	11	4	12		
2009-2010	24	21	42	6	4	16		
2010-2011	29	5	61	7	1	19		
Total	92	58	170	24	9	47		
Parámetro		Max.	Media	d.e.	Min.	Max.	Media	d.e.
IRM	0	7.57	2.12	2.19	0	5.91	1.85	2.16

Min: mínimo; Max. Máximo; d.e.: desviación estándar

Como se puede apreciar en la tabla, los estadísticos descriptivos de ambos colectivos (C y VI) son similares. Al seleccionar el colectivo de validación interna mediante el algoritmo CENTER se extrae un colectivo reducido que mantiene la estructura del inicial.

3.2. Desarrollo y evaluación de los modelos NIRS de regresión cuantitativa para determinar IRM

En el desarrollo de modelos cuantitativos para la predicción del índice de reposición del cerdo Ibérico en montanera (IRM) se emplearon distintos tratamientos matemáticos para la corrección del efecto de la dispersión de la señal espectral y la detección de muestras anómalas químicamente (los detalles del proceso matemático seguido pueden consultarse en De Pedro et al. 2007). El modelo finalmente seleccionado para la predicción del IRM mediante análisis espectral en el infrarrojo cercano del tejido adiposo subcutáneo de forma intacta, fue el obtenido aplicando MSC junto con una segunda derivada (2,10,5,1) en la región espectral 450–2208 nm, con un intervalo entre longitudes de onda de 2 nm. Las características de dicho modelo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Características del modelo de predicción del IRM para la caracterización del régimen alimenticio de cerdos ibéricos.

Intervalo de longitud de onda (nm)		800-2208
Valores de IRM	Mínimo	0.0
	Máximo	6,6
	Media	2,09
	Desviación estándar	2,1
Error estándar de calibración (SEC)		0,83
Error estándar de validación cruzada (SECV)		0,97
Coeficiente de determinación de validación cruzada (R^2_{cv})		0.79
Error estándar de predicción (SEP)		0.91
Porcentaje de muestras correctamente clasificadas (%) en el colectivo de validación interna	Totales	86.2
	Bellota	75.0
	Recebo	77.8
	Cebo	93.6

En general, los animales de categoría Recebo son más difíciles de clasificar debido al diferente comportamiento alimenticio de los animales (preferencia por pienso o bellota, comportamiento dominante de individuos, ...) por lo que el porcentaje de animales correctamente clasificados en esta categoría es generalmente más bajo (Zamora-Rojas et al. 2012). Sin embargo, en nuestro caso, el porcentaje de muestras correctamente clasificadas en la categoría Recebo fue superior al de la categoría Bellota (77,8 % vs 75 %).

Este bajo porcentaje de clasificación en la categoría Bellota podría deberse a que en dicha categoría se había incluido un lote de animales (BE09-2) que no llegó a alcanzar el incremento de peso en montanera, exigido por la Norma de Calidad, de 46 kg. El modelo de clasificación espectral NIRS clasificó muchos animales de este lote en la categoría Recebo, puesto que el valor de IRM era inferior a 4 y por tanto se obtuvo un valor más bajo de muestras correctamente clasificadas. Por otra parte, a pesar de la variedad de tipos de alimentación a base de pienso considerados, el porcentaje de muestras clasificadas en la categoría "Cebo" fue elevado, próximo al 94 %. No obstante, cabe destacar que la partida CA08-3, inicialmente considerada como Recebo, fue clasificada finalmente como "Cebo", por no llegar a la reposición de peso en montanera exigido por la Norma de Calidad, de 29 kg. Sin embargo, dentro de esta partida cierto número de animales podrían haber consumido cantidades de bellota iguales o superiores a los 29 kg y su perfil espectral ser más acorde con la categoría Recebo en lugar del perfil característico del de Cebo, lo que explica que algunos animales de esa partida hayan sido clasificados como Recebo por el modelo de clasificación espectral NIRS desarrollado.

El siguiente paso consistió en aplicar el modelo de clasificación espectral NIRS, basado en la predicción del IRM al colectivo de animales que no habían intervenido en el desarrollo del modelo (VE). Estos grupos fueron dos de la categoría Bellota (B10-5 y B10-10) y dos de Recebo (R10-3 y R10-4), catalogadas así por la DOP, uno de Cebo de Campo (CA10-2) y uno de Cebo intensivo (CE10-5), de los que se tenía la información del consumo de bellota/pienso del lote y calificadas en dichas categorías por los inspectores de campo, pero se desconocía el consumo individual de los alimentos correspondientes. Los resultados de la aplicación del modelo se recogen en la tabla 6.

Dicha tabla muestra la matriz de clasificación obtenida al aplicar el modelo de predicción NIRS de IRM al colectivo y, posteriormente, clasificar individualmente cada animal, en función de los límites de IRM descritos en la sección 2.2., en cada categoría comercial ("Bellota", "Recebo" o "Cebo").

En ella podemos observar que el porcentaje global de muestras correctamente clasificadas fue próximo al 95 %, muy superior al obtenido en la validación interna (VI) (86,2 %). Este incremento se debe fundamentalmente al incremento de los porcentajes de clasificación correcta en la categoría Bellota superiores al 90% frente al 75 % obtenido en la validación interna. Esto confirmaría que los menores valores de porcentaje de muestras correctamente clasificadas de las partidas de Bellota en el colectivo VI se debería más a la inclusión en esa categoría de animales con menor reposición de peso en montanera del exigido por la Norma en vez de errores del modelo de clasificación.

Tabla 6. Resultados de la clasificación de los animales del colectivo de validación externa (VE). Valor del IRM estimado y según información de campo

Partida	B10-5	B10-10	R10-3	R10-4	CA10-2	CEIO-5	
N° de muestras	14	14	19	19	21	21	
Categoría por campo	Bellota	Bellota	Recebo	Recebo	Cebo de campo	Cebo	
Clasificada en	Bellota	14	13	0	4	0	0
	Recebo	0	1	12	15	0	0
	Cebo	0	0	7	0	21	21
Muestras correctamente clasificadas (%) (1)	100	92,9	63,2	78,9	100	100	
IRM predicho	6.1	5,8	2,2	3.5	0,5	-0,4	
Clasificación por IRM (2)	Bellota	Bellota	Recebo	Recebo	Cebo	Cebo	

(1) Porcentaje de muestras correctamente clasificadas respecto a las de la partida correspondiente

(2) Predicción basada en el espectro medio de cada partida, según valores establecidos en el apartado 2.2

La clasificación de muestras en la categoría Recebo, con valores similares a los obtenidos en el colectivo de validación interna (VI), pone de manifiesto la variabilidad de categorías de animales en dichas partidas, como consecuencia de la variabilidad del comportamiento alimentario de los animales. El porcentaje elevado de muestras de las partidas de Cebo correctamente clasificado en su categoría, tanto si eran de campo como en nave, afianza la validez de este modelo de clasificación de animales y/o partidas.

A la vista de los resultados obtenidos, y dado que actualmente los criterios de clasificación se realizan sobre partidas de animales y no de forma individualizada de animales, el modelo se aplicó al espectro medio representativo (calculando el valor medio de los espectros de todas las muestras) de cada partida. En la parte inferior de la tabla 6 se puede ver cómo todas las partidas fueron clasificadas por el valor del IRM en la misma categoría asignada por la información de campo.

2.3 Clasificación en base a la producción NIRS del IRM de todas las partidas objeto de estudio a partir de su espectro medio

Para una correcta interpretación del significado del valor obtenido del parámetro IRM, se ha procedido a aplicar al espectro medio de cada partida el modelo seleccionado de predicción del IRM.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos para las partidas objeto de estudio, así

como la información de campo suministrada por el personal técnico, separadas por categorías comerciales.

Tabla 7. Resultados de la clasificación de cada partida experimental en base al IRM predicho por el espectro medio de las muestras de cada partida

Partida (Código)	N° Muestras	IRM (1)	Clasificación por		Partida (Código)	N° Muestras	IRM (1)	Clasificación por	
			IRM (2)	Campo				IRM (2)	Campo
B08-1	25	4.2	B	B	CA08-1	12	-0.2	Cebo	CCa
B08-2	32	5.2	B	B	CA08-2	23	0.8	C	CCa
B09-1	24	4.8	B	B	CA08-3	39	1.4	C	CCa
B09-2	29	3.9	ReC	B	CA09-1	24	0.8	C	CCa
B10-1	13	5.0	B	B	CA09-2	25	0.4	C	CCa
B10-2	16	4.6	B	B	CA09-3	25	1.3	C	CCa
B10-3	8	4.5	B	B	CAIO-1	21	0.4	C	CCa
B10-4	8	4.9	B	B	CAIO-2	24	0.5	C	CCa
B10-5	14	6.1	B	B	CE08-1	32	0.0	C	C
B10-6	15	4.3	B	B	CE09-1	24	-0.5	C	C
B10-7	10	6.0	B	B	CEIO-1	5	1.3	C	C
B10-8	12	5.5	B	B	CEIO-2	8	1.3	C	C
B10-9	14	4.4	B	B	CEIO-3	14	0.1	C	C
B10-10	14	5.8	B	B	CEIO-4	24	0.8	C	C
R08-1	28	3.8	R	R	CEIO-5	22	-0.4	C	C
R08-2	12	3.2	R	R					
R09-1	24	2.4	R	R					
R09-2	25	3.0	R	R					
R10-1	7	3.0	R	R					
R10-3	19	2.2	R	R					
R10-4	20	3.5	R	R					
R10-5	11	3.8	R	R					

(1): IRM: Índice de Reposición en Montanera, estimado por el modelo obtenido por información del espectro NIR
(2): IRM: El criterio de clasificación en las distintas categorías es el establecido en el apartado 2.2

En el caso de la categoría "Bellota", podemos observar que todas las partidas son correctamente clasificadas, a excepción de la partida B09-2 (partida de bellota que no llegó a alcanzar los requerimientos mínimos de reposición establecidos por la norma).

En el caso de las partidas de "Recebo", cabe destacar que, a pesar de ser partidas complejas debido a la heterogeneidad que suelen presentar los animales que la componen, todas las partidas han sido correctamente clasificadas. No obstante, podemos ver que hay

partidas más próximas al corte de la categoría "Bellota", como la partida R08-1 o R10-5, que presentan un valor IRM de 3,8 mientras que otras partidas como R09-1 o R10-3 presentan valores de IRM más próximos al corte de la categoría "Cebo".

En el caso de las partidas con información de campo de "Cebo" o "Cebo de Campo", todas presentan un valor para su espectro medio de partida inferior a 2, por lo que se clasifican como "Cebo", siendo los valores más bajos proporcionados por animales cruzados con Duroc y engordados con piensos no engrasados en corrales. Por el contrario, los valores más altos de IRM dentro de esta categoría los proporcionan las partidas de animales engordados con piensos especiales y en cercas con hierba para su consumo. Esto indica que el uso de la tecnología NIRS aplicada a la predicción cuantitativa del parámetro IRM puede permitir la detección de animales que hayan sido alimentados durante el periodo final de engorde con piensos que intentan asemejarse al perfil lipídico de la bellota, así como de otros compuestos presentes en los pastos.

Por último, indicar que la partida CA08-3 correspondiente a cerdos que inicialmente habían sido engordados como "Recebo" pero que por no cumplir los requisitos de la norma fue catalogada finalmente como "Cebo" fue la que presentó un valor de IRM más alto (1,4) dentro de las partidas clasificadas como "Cebo".

4. CONCLUSIONES

El modelo desarrollado para la predicción mediante Espectroscopia del Infrarrojo Cercano del índice de Reposición del cerdo Ibérico en Montanera permite autenticar de forma individual canales en función de su régimen alimenticio de forma rápida, simple, no destructiva, objetiva y económica. Este análisis no destructivo NIRS del tejido adiposo subcutáneo procedente de cerdo Ibérico permite discriminar, de forma inequívoca, entre partidas, en base al resultado del espectro medio representativo de la misma, y de forma individual entre animales que han recibido distinto régimen alimenticio ("Bellota", "Recebo" y "Cebo") con porcentajes de muestras correctamente clasificadas elevados para categorías extremas ("Bellota" y "Cebo") y aceptables para la categoría con calidad intermedia ("Recebo").

Por otro lado, la gran variabilidad del colectivo con el que se ha realizado el estudio con animales procedentes de distintas campañas, zonas de producción y sistemas de producción (nave, parque y dehesa) con distintos tipos de piensos y consumo de hierba, permite concluir que los resultados obtenidos podrían ser aplicables a animales producidos en distintas regiones españolas y servir de base a las autoridades competentes en el establecimiento de un sistema de certificación objetivo, rápido y sostenible.

La aplicación de la tecnología NIRS como sistema de control de productos derivados del cerdo Ibérico no sólo permitiría garantizar la calidad de un producto de alta gama de cara a un consumidor exigente, sino que puede garantizar la conservación y sostenibilidad de un sistema de producción tradicional como es el binomio dehesa-cerdo Ibérico mediante el establecimiento de controles objetivos que eviten el fraude y garanticen el pago justo por un producto de calidad. Además, otros agentes del sector podrían contar con esta tecnología como herramienta integrada en su sistema de apoyo a la toma de decisiones a la hora de controlar las materias primas con las que van a generar sus productos.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación INIA "RTA 2008-00026-007. Los autores están agradecidos al personal técnico del Departamento de Producción Animal: Antonio López-López, Manuel Sánchez-Calderón y María del Carmen Fernández-Fernández. Los análisis fueron realizados con equipamiento de la Unidad de Espectroscopia NIRS/MIR del SCAI de la Universidad de Córdoba. Eduardo Zamora Rojas agradece el apoyo financiero del Ministerio de Educación del Gobierno español como beneficiario del programa "Formación del Profesorado Universitario" (AP2008-0038).