



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-268

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Comparación de las predicciones de parámetros bromatológicos de bellota de encina obtenidos con distintas ecuaciones NIR

HIDALGO FERNÁNDEZ, M.T.<sup>1</sup>; LEAL MURILLO, J.R.<sup>1</sup>; GARCÍA MORENO, A.<sup>2</sup>; CARBONERO MUÑOZ, M.D.<sup>3</sup>; FERNÁNDEZ REBOLLO, P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba.

<sup>2</sup> Área de Ecología, Producción y Recursos Naturales. IFAPA. Alameda del Obispo. Córdoba

<sup>3</sup> Área de Producción Agraria. IFAPA. Centro Hinojosa del Duque, Córdoba.

### Resumen

El presente trabajo compara los valores bromatológicos de bellota de encina predichos por ecuaciones desarrolladas con espectros NIR obtenidos en distintos equipos y con distinta presentación de la muestra. Se recogieron bellotas de 36 árboles, se cortaron por la mitad longitudinalmente y se obtuvo un espectro de la pulpa fresca e intacta con un equipo LabSpec 5000 y una sonda de contacto. Posteriormente las bellotas se pelaron, molieron y secaron, obteniéndose espectros de esta harina seca con el equipo anterior y con un equipo Foss-NIRSystems 6500 usando para ello unas cápsulas adaptadas para este fin. Posteriormente se predijo la concentración de proteína bruta, grasa bruta y los principales ácidos grasos de la bellota para cada equipo y forma de presentación. Los valores obtenidos se compararon entre sí. Los resultados indican que las predicciones proteína bruta y de ácido oleico con el mismo equipo en diferentes presentaciones, son similares. Para el resto de componentes y en comparación con el equipo Foss las diferencias son significativas, pero siempre guardando una relación fuerte entre ellas. La espectroscopía puede usarse sobre bellota intacta, disminuyendo el procesado, el coste y el tiempo empleado frente a la predicción a partir de harina de bellota seca.

### Palabras clave

Bellotas, composición bromatológica, NIRS, *Quercus ilex*.

### 1. Introducción

La dehesa constituye el sistema agrosilvopastoral más característico y representativo de Europa, con 2.9 millones de ha en España (COSTA *et al.* 2006). La especie forestal más típica de la dehesa es la encina, *Quercus ilex* subsp. *ballota*, muy apreciada por la producción de bellota, empleada principalmente en la alimentación del cerdo ibérico, el cual constituye un elemento de rentabilidad en muchas explotaciones de dehesa (LÓPEZ-BOTE *et al.* 1998; RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ *et al.*, 2009). Dentro de las funciones productivas que presenta la encina en la dehesa, la producción de bellota ha sido una de las más valoradas desde antiguo, habiendo sido objeto de consumo humano y animal (FERNÁNDEZ y CARBONERO, 2008).

La producción de bellota es una característica bastante variable entre zonas, entre años e individuos (CARBONERO, 2011). Asimismo, la composición y el peso de la bellota están influidas por distintos factores como los derivados de su propia fase de maduración, los inherentes al árbol (especie o/y forma botánica), al área (ambiente ecológico), y a la acción de agentes externos como la meteorología o determinadas plagas y/o enfermedades

(LÓPEZ-CARRASCO *et al.*, 2005). Si a lo anteriormente expuesto se le suma que la alimentación del cerdo Ibérico es el factor más influyente sobre la calidad final de su carne y grasa, ya que existe una relación directa entre la alimentación que ingiere y la composición de la misma (RAMOS, 2003), sería, por tanto, una cuestión de interés conocer dicha composición.

A lo largo de los últimos años se ha ido avanzando en el desarrollo de la tecnología NIRS (espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano) para el análisis de distintos constituyentes. La aplicación de la tecnología NIRS al ámbito de la agricultura, ganadería y al forestal es especialmente idóneo debido a que los productos agroforestales presentan una gran variabilidad y suelen ser perecederos (CARBONERO, 2011). La bellota es un producto de gran heterogeneidad que requiere por tanto de un amplio muestreo, motivo por el cual este tipo de tecnología es idónea, por su rapidez y bajo coste, y por ser una técnica no destructiva y con una escasa necesidad de preparación de la muestra para su análisis.

## 2. Objetivos

El presente trabajo pretende comparar las predicciones de distintos valores bromatológicos de la bellota con diferentes equipos NIRS y formas de presentación.

## 3. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el término municipal de Pozoblanco (Córdoba) en el año 2015. Se recogieron bellotas de 36 encinas. Se tomaron 10 bellotas sanas de cada árbol, y se les realizó un corte longitudinal limpio y preciso con una cortadora de fiambre de manera que quedara una superficie plana de medio centímetro aproximadamente de ancho, coincidiendo con la apertura de ventana de la sonda del espectrofotómetro. Posteriormente se procedió a decorticarlas. La pulpa fresca obtenida fue triturada en un molino de cuchillas hasta que se obtuvo una pasta homogénea. Seguidamente se introdujeron en un sobre de papel en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h. Pasado ese periodo, el material desecado fue nuevamente molido, cribado con una malla de 1mm e introducido en botes herméticos de 100 ml.

La toma de espectros de la pulpa intacta se realizó con un equipo LabSpec 5000 (ASD, Inc.) provisto de una sonda de fibra óptica, que realiza medidas en reflectancia cada 1 nm en el rango del espectro visible (VIS, 350-1100 nm) y del infrarrojo cercano (NIR, 1100-2500 nm). El registro de espectros se hizo midiendo directamente sobre la bellota con la sonda de contacto a la que previamente se le colocó una arandela que le disminuía la apertura del tamaño de ventana de 2 cm a 0.5 cm. Para cada muestra se obtuvieron por duplicado los logaritmos de la inversa de la reflectancia ( $\log 1/R$ ) del espectro.

A la harina seca de bellota se le tomaron lecturas NIRS usando dos equipos diferentes. Por un lado se utilizó el mismo equipo que para la bellota intacta, usando el accesorio *muglight* indicado para materias con consistencia en polvo o granular y que viene provisto de unas cápsulas de cristal de cuarzo. Su diseño minimiza los errores asociados a la radiación difusa. Por otro lado, la pulpa de bellota seca y molida se analizó asimismo con un espectrofotómetro FOSS NIR Systems 6500 de barrido continuo, perteneciente a la unidad NIRS/MIR del Servicio Central de Apoyo a la Investigación (SCAI) de la Universidad de

Córdoba. Éste es un equipo VIS/NIR que trabaja en el rango de los 400-2500 nm y realiza medidas cada 2 nm. Para ello se usaron las cápsulas de ¼ denominadas *coarse cell* compuestas por una ventana de cristal de cuarzo.

Posteriormente, se realizó un pre-procesado de los datos obtenidos con el equipo Labspec para transformar y acondicionar los archivos espectrales obtenidos y que puedan ser usados por el software quimiométrico WinISI II v 1.50. Para dicha transformación se utilizó el software The Unscrambler 8.0. A continuación, se determinó la estructura y variabilidad espectral del colectivo usando el algoritmo CENTER disponible en el software WinISI. Este se basa en un análisis de componentes principales (PCA), y determina el centro de la población y las distancias existentes entre cada muestra y dicho centro en un espacio n-dimensional mediante la distancia de Mahalanobis (GH), considerándose anómalos aquellos espectros que difieren significativamente de la media de la población ( $GH > 3$ ) (SHENK & WESTERHAUS, 1991; SHENK & WESTERHAUS, 1995). Se valoró la eliminación o no de alguno de los espectros pertenecientes a una misma muestra, y con el resto se hizo la media, obteniendo un espectro por árbol. En el caso de las lecturas realizadas sobre bellota intacta se realizó también una media de los espectros obtenidos de las 10 bellotas por árbol, para tener un único valor espectral por individuo.

Finalmente, usando las ecuaciones desarrolladas previamente por el Departamento de Ingeniería Forestal para bellota intacta y para harina de bellota con el equipo Labspec y las realizadas por el SCAI para harina de bellota con el equipo FOSS (Tabla 1), se han predicho la grasa, proteína bruta y los principales ácidos grasos.

Tabla 1. Estadísticos de las ecuaciones de calibración a partir de bellota intacta y harina de bellota con ambos equipos

		Media <sup>a</sup>	Rango	SD <sup>b</sup>	Nº <sup>c</sup>	ETVC <sup>d</sup>	R <sup>2e</sup>	RPD <sup>f</sup>	RER <sup>g</sup>
Bellota intacta Equipo Labspec	Proteína bruta (%)	4.61	2.78-8.14	0.9	133	0.26	0.96	3.46	20.62
	Grasa (%)	9.96	2.73-14.91	2.1	132	0.57	0.99	3.68	21.37
	Palmítico (% ms)	1.41	0.63-1.95	0.24	138	0.16	0.56	1.50	8.25
	Esteárico (% ms)	0.31	0.08-0.64	0.1	140	0.06	0.85	1.67	9.33
	Oleico (% ms)	6.57	1.37-10.27	1.58	130	0.43	0.98	3.67	20.70
	Linoleico (% ms)	1.41	0.52-2.03	0.26	136	0.15	0.94	1.73	10.07
Harina de bellota Equipo Labspec	Proteína bruta (%)	4.75	2.78-7.69	0.91	179	0.21	0.97	4.33	23.38
	Grasa (%)	10.23	2.73-14.91	1.98	172	0.31	0.98	6.39	39.29
	Palmítico (% ms)	1.46	0.63-1.98	0.24	170	0.13	0.76	1.85	10.38
	Esteárico (% ms)	0.33	0.08-0.70	0.11	177	0.06	0.75	1.83	10.33
	Oleico (% ms)	6.69	1.37-10.27	1.48	170	0.33	0.97	4.48	26.97
	Linoleico (% ms)	1.45	0.26-2.08	0.29	171	0.14	0.87	2.07	13.00
Harina de bellota Equipo Foss	Proteína bruta (%)	5.79	3.62-7.96	0.87	150	0.22	0.93	3.95	19.7
	Grasa (%)	8.9	4.12-13.10	1.56	154	0.31	0.96	5.03	29
	Palmítico* (% gb)	15.6	12.0-19.0	1.23	158	0.71	0.68	1.73	9.86
	Esteárico* (% gb)	2.72	1.8-3.7	0.42	162	0.34	0.35	1.24	5.59
	Oleico* (% gb)	63.77	54.4-70.6	2.44	164	1.2	0.76	2.03	13.5
	Linoleico* (% gb)	15.72	10.8-20.7	1.9	164	0.73	0.86	2.60	13.6

**a** Media del colectivo de calibración; **b** Desviación estándar del colectivo de calibración; **c** Número de muestras de la calibración; **d** Error estándar en la validación cruzada; **e** Coeficiente de determinación de la calibración; **f** SD/ETVC; **g** Rango/ETVC. \* Las ecuaciones de los ácidos grasos del equipo Foss están expresadas en porcentaje de grasa bruta. Asimismo la harina con la que se ha desarrollado las ecuaciones está secada a 45°C.

#### 4. Resultados

Los valores medios correspondientes a las predicciones NIRS de la composición química usando diferentes equipos y distintas formas de presentación para las bellotas de las 36 encinas analizadas vienen recogidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores medios de los parámetros predichos con los equipos Labspec y Foss para las dos formas de presentación de las muestras.

	Grasa (%)	Proteína bruta (%)	ácidos grasos (% materia seca)			
			Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico
Bellota intacta Labspec	11.04	4.67	1.36	0.32	7.12	1.74
Harina de bellota Labspec	10.62	4.72	1.49	0.37	7.17	1.43
Harina de bellota Foss	11.23	5.31	1.71	0.33	7.53	1.62

Estos valores medios predichos presentan variaciones entre los distintos espectrofotómetros y entre las mediciones realizadas sobre bellota intacta y sobre la pulpa seca y molida. En el caso de la grasa bruta el valor medio oscila entre 10.62% de la harina de bellota con el equipo Labspec y 11.23% con el equipo Foss. Para la proteína bruta el valor medio más elevado se obtiene con el equipo Foss, alcanzando un porcentaje de 5.31%. Para el resto de ácidos grasos las diferencias entre los valores medios de las distintas predicciones son menores.

Los resultados obtenidos al comparar las medias de las predicciones de los valores bromatológicos para cada tipo de presentación de la muestra en equipos diferentes se recogen en la Tabla 3. Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las predicciones realizadas con el espectrofotómetro Labspec y con el Foss, y a su vez entre las predicciones realizadas a partir de la bellota entera y a partir de la pulpa de la bellota molida.

Tabla 3. Resultados del test T de comparación de las medias de muestras relacionadas para los parámetros predichos en los equipos Labspec y Foss.

	ácidos grasos (% materia seca)											
	Grasa		Proteína bruta		Palmítico		Esteárico		Oleico		Linoleico	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
Intacta Labspec vs Harina Foss	1,07	0,29	8,38	0,00*	12,59	0,00*	1,90	0,07	3,13	0,00*	-3,51	0,00*
Harina Labspec vs Harina Foss	12,2	0,00*	10,68	0,00*	11,52	0,00*	-6,68	0,00*	6,51	0,00*	10,20	0,00*
Intacta Labspec vs Harina Labspec	2,59	0,00*	-0,78	0,44	-7,84	0,00*	-6,25	0,00*	-0,38	0,70	9,92	0,00*

\* ( $p < 0,05$ )

En la figura 1 se muestran los valores predichos de los valores bromatológicos con el equipo Labspec (eje y), tanto en bellota entera como en harina de bellota, frente a los valores predichos con el equipo Foss (eje x). En azul aparecen los valores de bellota intacta frente a los valores de harina de bellota predichos con el equipo Foss. En rojo, los valores de harina de bellota determinados tanto con el equipo Foss como con el equipo Labspec. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para todos los casos es mayor de 0.6 excepto en el caso de los valores predichos del ácido linoleico en bellota entera frente a los predichos con el equipo Foss cuyo  $R^2$  es de 0.28.

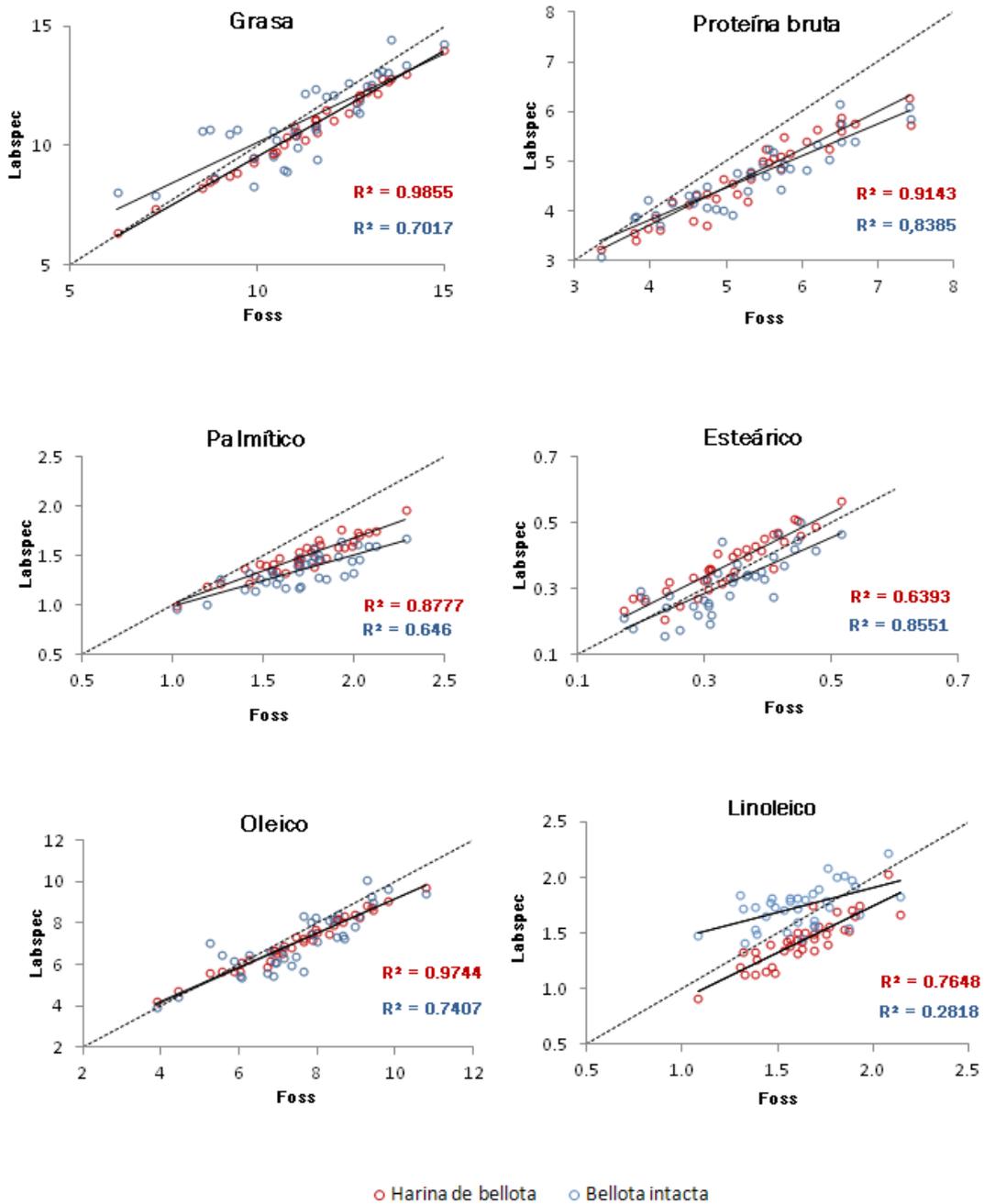


Figura1. Rectas de regresión de los parámetros predichos con el equipo Labspec (harina de bellota y bellota intacta) frente a los predichos con el equipo Foss. Se incluye el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para ambas rectas.

## 5. Discusión

El análisis de la composición bromatológica de la bellota mediante distintas ecuaciones NIRS ponen de manifiesto similitudes en los valores medios de los distintos parámetros analizados variando el equipo utilizado y la forma de presentación de la muestra. Existe una relación entre la grasa bruta y el ácido esteárico obtenidos sobre bellota entera y los predichos sobre harina de bellota. Asimismo, los valores medios de las predicciones de la proteína bruta y el ácido oleico con el Labspec, tanto directamente sobre la bellota como en la pulpa seca, son prácticamente idénticos.

En el resto de casos, los valores medios predichos con los dos espectrofotómetros en ambas presentaciones de las bellotas, presentan diferencias significativas. Dichos valores medios por norma general presentan magnitudes más altas en la harina de bellota analizada con el equipo Foss que los valores predichos con el equipo Labspec. Estas diferencias en las predicciones se pueden deber principalmente a las variaciones en el contenido de humedad que existen en las dos formas de presentación de las muestras. En el caso de la bellota intacta el contenido en agua presente es mucho mayor, lo que provoca modificaciones en la reflectividad debidas a la humedad. Asimismo, cuando la muestra no es sometida a una homogeneización y se toman lecturas NIRS sobre la muestra intacta, los modelos de predicción suelen obtener peores resultados. Como se puede observar las ecuaciones de calibración usadas presentan de forma general una alta calificación en base a los criterios interpretativos expuestos por SHENK & WESTERHAUS (1996), los cuales señalan que un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) superior a 0.90 indica que la calibración es excelente y si su valor está entre 0.70 y 0.89 la calibración se considera buena. Sin embargo, las ecuaciones de calibración de los ácidos grasos sobre bellota intacta presentan una precisión menor si se tienen en cuenta que los valores de RPD y RER son menores de 3 y de 10 respectivamente (WILLIAMS & SOBERING, 1996).

Las diferencias entre los valores medios de harina de bellota predichos por el equipo Foss y el equipo Labspec pueden ser debidas también a variaciones en el contenido de humedad presente en las muestras analizadas. Las ecuaciones de calibración desarrolladas para el equipo Foss han usado muestras de harina bellota desecadas a 45°C, lo cual supone una diferencia en el contenido de agua con respecto las muestras predichas que se han secado a 60°C. La variabilidad espectral no es sólo debida a las diferencias químicas, sino que también está condicionada por variaciones en la humedad, tamaño de partícula, relación señal/ruido, etc.

Con respecto a las relaciones lineales entre los valores predichos con el equipo Foss y los predichos con el equipo Labspec (sobre harina y bellota intacta) muestran una fuerte correspondencia entre ellos, obteniendo coeficientes de determinación mayores a 0.6 y muy próximos a 1 en su mayoría, excepto en el caso del ácido linoleico en bellota entera.

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que las predicciones de proteína bruta y de ácido oleico con el mismo equipo en harina de bellota y bellota intacta, son similares. Del mismo modo, los valores predichos de grasa bruta y ácido esteárico sobre bellota intacta y harina de bellota analizada con el

equipo Foss, presentan medias análogas. Para el resto de componentes y en comparación con el equipo Foss las diferencias son significativas, pero siempre guardando una relación fuerte entre ellas.

Todo ello indica un buen potencial de la predicción a partir de bellota intacta e incitan al perfeccionamiento de las calibraciones desarrolladas, disminuyendo el procesado, el coste y el tiempo empleado frente a la predicción a partir de harina de bellota seca.

## 7. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Proyecto RTA2014-00063-C04-03.

## 8. Bibliografía

CARBONERO MUÑOZ, M.D.; 2011. Evaluación de la producción y composición de la bellota de encina en dehesas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba.

COSTA, J.C.; MARTÍN, A.; FERNÁNDEZ, R.; ESTIRADO, M.; 2006. Dehesas de Andalucía: caracterización ambiental. Ed. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. 289 pp. Sevilla.

FERNÁNDEZ REBOLLO, P.; CARBONERO, M.D.; 2008. La dehesa como hábitat natural para el Cerdo Ibérico. En: FORERO, J. (Eds): El cerdo ibérico. Una revisión transversal. 103-134. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y Fundación Caja Rural del Sur. Sevilla.

LÓPEZ-BOTE, C.; ISABEL, B.; REY, A.I.; 1998. Alimentación del cerdo ibérico y calidad de la producción cárnica. *Anaporc*, 177, 54-73.

LÓPEZ CARRASCO, C.; MUÑOZ DE LUNA, T.; DAZA, A.; REY, A.; LÓPEZ-BOTE, C.; 2005. Variaciones inter e intraanuales de la calidad de bellotas de encina en una dehesa de Castilla-La Mancha. En: OSORO, K. et al (Eds). Actas de la XLV Reunión Científica de la S.E.E.P., 391-398. Serida. Villaviciosa.

RAMOS, A.; 2003. Desarrollo de ecuaciones NIRS para la determinación de la composición química de harina de bellota. Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. Córdoba.

RODRÍGUEZ-ESTEVEZ, V.; GARCÍA, A.; GÓMEZ, A.G.; 2009. Characteristics of the acorns selected by free range Iberian pigs during the montanera season. *Livestock Science*, 122, 169-176.

SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O.; 1991. Population definition simple selection and calibration procedures for near infrared spectra and modified partial least squares regression. *Crops Science*, 31, 469-474.

SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O.; 1995. Analysis of agricultural and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Monograph. NIR Systems Inc.; 1210 Tech Roda, Silver Spring, MD 20904, 116pp.

SHENK, J.S.; WESTERHAUS M.O.; 1996. Calibration the ISI way. *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. 198-202. NIR Publications, Chichester.

WILLIAMS, P.; SOBERING, D.C.; 1996. How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*. 185-188. NIR Publications. Montreal. Canadá.