INTEGRACIÓN DE SENSORES NIRS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN COMO MOTOR DE INNOVACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL CERDO IBÉRICO

Zamora-Rojas, E., Garrido-Varo, A., De Pedro-Sanz, E., Pérez-Marín, D. y Guerrero-Ginel, J.E.

Ingeniería de Sistemas de Producción Agroganaderos, Departamento de Producción Animal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria y de Montes, Universidad de Córdoba, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), Campus Rabanales, km 396, N-IV, 14014, Córdoba, España. e-mail: e.zamora@uco.es

INTRODUCCIÓN

Trabajos de investigación realizados durante varios años por el Grupo de Ingeniería de Sistemas de Producción Agroganaderos (ISPA) de la Universidad de Córdoba han mostrado el potencial de la Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para el análisis – *at line* – (laboratorio) de grasa fundida y tejido adiposo intacto, y la posterior clasificación de canales de cerdo ibérico en diferentes categorías comerciales, de acuerdo con el régimen alimenticio de los animales. La subjetividad y alto coste de las inspecciones en campo, las conocidas variaciones individuales existentes en la composición en ácidos grasos del tejido adiposo de animales (De Pedro y García-Olmo, 1999) y el alto precio alcanzado en el mercado por las piezas curadas procedente de estos tipos de animales, hace deseable y necesario que los sistemas de control basados en la tecnología NIRS puedan aplicarse a cada animal de forma individual. Durante las Jornadas de AIDA de 2005, 2007 y 2009, se mostró cómo los avances en instrumentación NIRS abrían enormes expectativas para su uso *in situ*/*on-line* en la línea de procesado (De Pedro *et al*., 2005 y 2007; García Molina *et al*., 2009). El presente trabajo muestra el potencial de la integración de datos procedentes de equipos NIRS portátiles basados en sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS), junto con otras tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), para que usuarios no expertos puedan de forma simple, sencilla y rápida, analizar e interpretar los datos NIRS obtenidos, teniendo la información disponible al momento en dispositivos móviles.

MATERIAL Y MÉTODOS

Un total de 110 canales de cerdos ibéricos producidos con diferentes regímenes alimenticios (Bellota, Recebo y Cebo) se analizaron en la línea de faenado durante dos campañas de sacrificio (2008/2009 y 2009/2010). De cada canal se registró el espectro por cuadruplicado del tejido adiposo (a unos 10 cm del área de inserción del rabo), utilizando un espectrofotómetro portátil MEMS-NIRS (Phazir™ 1624, Polychromix Inc., Wilmington, MA, USA). Este equipo realiza medidas en reflectancia (1600-2400 nm con un intervalo entre longitudes de onda no constante de aproximadamente 8 nm). La metodología seguida para el tratamiento previo al desarrollo de los modelos ha sido la propuesta por Shenk *et al*., (2001) y qué, básicamente, consiste en la optimización del rango espectral de medida, el cálculo y minimización de errores espectrales, análisis de la estructura de las poblaciones espectrales y determinación e interpretación de muestras anómalas. Como pretratamiento de la señal espectral se utilizó *Standard Normal Variate* y *Detrending* (SNV+DT) seguido de una primera derivada basada en el algoritmo de Savitzky-Golay y centrado de los datos. Posteriormente, estos datos fueron utilizados para el desarrollo de modelos NIRS cuantitativos utilizando el algoritmo PLS (Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales), utilizándose como análisis de referencia el perfil de ácidos grasos determinado por cromatografía de gases. Se utilizó el paquete quimiométrico PLS Toolbox (ver 5.8, Eingenvector Research, Inc., USA) para MATLAB® (ver 7.10, The Mathworks, USA). En dicho entorno también se diseño y desarrolló una interfaz gráfica de usuario (GUI, *Graphical User Interface*) para facilitar el análisis automático de los datos espectrales (repetibilidad espectral y predicción cuantitativa del perfil de ácidos grasos), obtenidos con el equipo portátil MEMS-NIRS. Asimismo, dicha GUI incluyó los modelos cualitativos desarrollados por Zamora-Rojas *et al.* (2012) para la predicción del régimen alimenticio de cerdo ibéricos

analizados *in situ* en la línea de faenado. El desarrollo de la aplicación android, para dispositivos móviles inteligentes, que permita la integración de información procedente de distintas fuentes como sensores NIRS y/o de campo se realizó con el software "App Inventor" del Massachuset Institute of Technology.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra las características de los modelos cuantitativos (predicción de ácidos grasos) desarrollados con un colectivo de calibración de 80 muestras y validados con un colectivo de 20 muestras. Asimismo, se presentan los modelos cualitativos (clasificación en regímenes de alimentación) publicados por Zamora-Rojas *et al.* (2012), ambos desarrollados con el mismo equipo portátil MEMS-NIRS. Estos resultados muestran el alto potencial que tienen estos nuevos equipos portátiles NIRS para un análisis fiable, rápido, multiparámetro e individual de canales de cerdo ibérico en la línea de faenado a un coste económico eficiente y sostenible. En base a esos resultados y a la experiencia previa acumulada, se ha diseñado un diagrama de flujo que recoge todas las etapas a programar para el desarrollo de la GUI; este diagrama permite el análisis automatizado de datos espectrales procedentes de equipos portátiles MEMS-NIRS. Normalmente los denominados sensores de bajo coste sólo incluyen software para la recogida de datos espectroscópicos, siendo necesario posteriormente exportarlos a otro software de tratamiento matemático-estadístico. Por tal razón, es necesario que la GUI incorpore distintas rutinas que permitan realizar todas las operaciones que se consideran críticas para la obtención de datos NIRS fiables, tales como importación de datos espectrales al nuevo entorno de trabajo de forma compatible y segura, optimización del rango espectral, evaluación de la repetibilidad espectral de las medidas y depuración de medidas anómalas, predicción cuantitativa y cualitativa de las muestras analizadas y obtención de estadísticos que informen sobre la fiabilidad de la predicción. El trabajo continuado con industrias del sector del cerdo ibérico nos ha mostrado la importancia de integrar la gran cantidad de información procedente de un sensor NIRS, incorporado "*on-line*" o *in situ*, con un sistema de apoyo a la toma de decisiones en la industria del cerdo Ibérico, de forma tal que los datos puedan estar fácilmente disponibles en diversas plataformas o bases de datos para integrarse con otro tipo de información relevante que permita tomar decisiones de una forma rápida y eficaz. La Figura 1 muestra el diseño final de la GUI desarrollada para el análisis automatizado de datos espectrales NIRS obtenidos con equipos MEMS-NIRS y la aplicación diseñada para android, la cual permite el registro y consulta web de bases de datos que integran información procedente del análisis NIRS individualizado de canales de cerdo Ibérico con otra procedente de otras fuentes. Todo esto pone de relieve el potencial de integrar sensores NIRS de última generación, para el control individual de canales de cerdo Ibérico, con otras tecnologías TIC, que facilitan la automatización del análisis de datos, su acceso remoto en cualquier ubicación y la toma de decisiones de una forma simple, rápida, intuitiva y eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Pedro, E. y García-Olmo, J. (1999). Sólo Cerdo Ibérico 3, 89-94. De Pedro, E., Garrido, A., Núñez Sánchez, N., García Olmo, J., Aparicio Oliver, D., Campos León, M.I., Pérez Marín D., Fernández Cabanás, V.M. (2005). ITEA 26, 759-761. De Pedro, E., Garrido, A., Pérez Marín, D., Guerrero, J.E. y López López, A. (2007). ITEA 28, 630-632. García Molina, P., Garrido, A., De Pedro, E., Pérez-Marín, D., Guerrero, A. y López, A. (2009). ITEA 30, 541-543. Shenk, J.S., Workman, J.J. y Westerhaus, M.O. (2001). En D.A. Burns y E.W. Ciurczak (Eds.) Handbook of Near Infrared Analysis (Segunda edición), 348-383. CRC Press, Florida, USA. Zamora-Rojas, E., Pérez-Marín, D., De Pedro-Sanz, E., Guerrero-Ginel, J.E. y Garrido-Varo, A. (2012). Meat Sci., 90, 636-642.

Agradecimientos: Eduardo Zamora-Rojas agradece al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España la financiación recibida dentro del programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU). Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía nº P09-AGR-5129. Los autores agradecen la

colaboración de las empresas del sector del Ibérico: COVAP S.C.A., Ibérico de Bellota S.A. y a la Denominación de Origen Protegida Los Pedroches.

Tabla 1. *Estadísticos de los modelos cuantitativos y cualitativos desarrollados con los datos espectrales de canales de cerdo ibéricos medidos in situ en la línea de matanza con un equipo MEMS-NIRS portátil.*

Presentación de muestra	Rango / resolución (nm)	Número de muestras (Cal./Val.)	ETVC / ETP (%)			
			Palmítico (C16:0)	Esteárico (C18:0)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)
Tejido adiposo intacto (canal)	1.600-2.208 / ~8	80/20	0,84/1,00	0,60/0,68	1,47/1,30	0,52/0,55
		Número de muestras (Cal./Val.)			Muestras clasificadas correctamente (%)*	
		Bellota	Cebo	Recebo	Bellota	Cebo	Recebo
		64/33	56/28	65/33	93,9	96,4	60,6

Cal: colectivo de calibración; Val: colectivo de validación; ETVC: error típico de validación cruzada; ETP: error típico de predicción. *Modelos publicados por Zamora-Rojas *et al.* (2012).

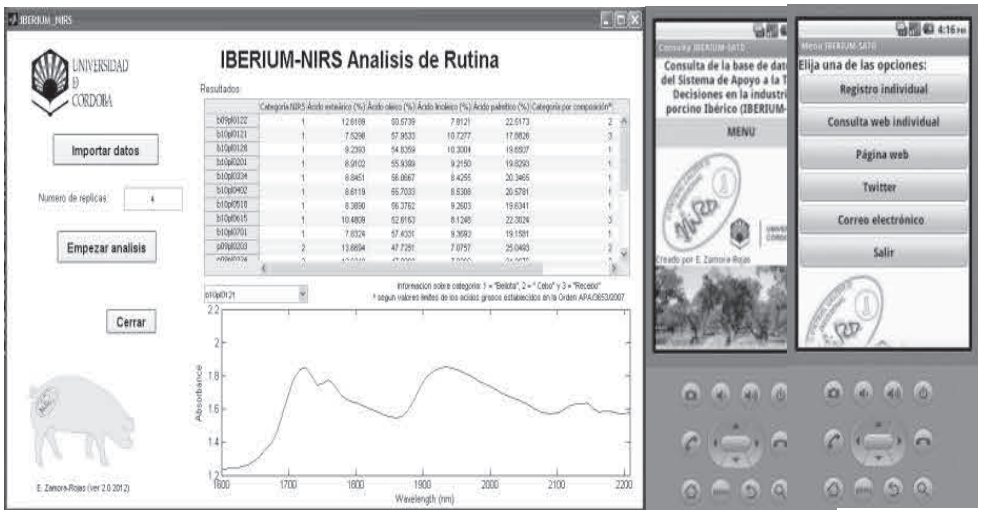


Figura 1: *Apariencia de la interfaz gráfica de usuario (izquierda) y aplicación android (derecha) diseñadas, para generar/acceder a la base de datos virtual.*

INTEGRATION OF NIRS SENSORS AND INFORMATION AND COMUNNICATIONS TECHNOLOGYAS AS A DRIVING FORCE FOR INNOVATION IN THE IBERIAN PIG INDUSTRY

ABSTRACT: An *in-situ* quality control analysis, quantitative (i.e. fatty acid prediction) and qualitative (i.e. feeding regime classification), in the pig carcass process line at the slaughterhouse is evaluated using a handheld micro-electro-mechanical (MEMS)-based Near Infrared (NIR) spectrometer. Based on the models obtained, a Graphical User Interface (GUI) was developed for automatic data analysis considering: spectra repeatability, classification of Iberian pig carcasses on different feeding regime categories and prediction of the major fatty acids composition. These parameters were included in a support decision-making system based on an android mobile application for a fast, simple, easy, economically efficient, reliable, objective and individual quality control of Iberian pig carcasses.

Keywords: Near Infrared Spectroscopy, Support Decision System, Quality Control, Cloud Computing