

**APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS DE  
POTENCIOMETRÍA (LENGUA ELECTRÓNICA) Y  
ESPECTROFOTOMETRÍA DE INFRARROJO CERCANO (SW-  
NIR) PARA LA CLASIFICACIÓN DE CERDOS DE RAZA  
IBÉRICA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ALIMENTACIÓN**

**MASTER EN SEGURIDAD Y GESTIÓN ALIMENTARIA**

Lunier Joel Girón Hernández

Raúl Grau Meló  
Director

Departamento de Tecnología de Alimentos  
Universidad Politécnica de Valencia.

# **APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS DE POTENCIOMETRÍA (LENGUA ELECTRÓNICA) Y ESPECTROFOTOMETRÍA DE INFRARROJO CERCANO (SW-NIR) PARA LA CLASIFICACIÓN DE CERDOS DE RAZA IBÉRICA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ALIMENTACIÓN**

Lunier Joel Girón Hernández<sup>1</sup>, José M. Barat<sup>2</sup>, Antonio Sánchez<sup>3</sup>, Luis Gil Sánchez<sup>4</sup>, Raúl Grau<sup>2</sup>.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se utilizaron las técnicas de potenciometría (lengua electrónica) y análisis de imagen (análisis multiespectral de onda corta que abarca el espectro del infrarrojo cercano (SW-NIR)) con la finalidad de clasificar, según su alimentación y de forma no destructiva, cerdos de raza ibérica. La experiencia se realizó utilizando grasa de cerdo ibérico de tres categorías (Montanera, Recebo y Cebo). Las muestras se analizaron mediante lengua electrónica y análisis de imagen siguiendo metodologías establecidas para cada una de las técnicas. Con los datos adquiridos se realizaron análisis de componentes principales (PCA) para observar si los métodos discriminaban las muestras y el nivel de discriminación. Con los resultados obtenidos se observó que para la lengua electrónica, con dos componentes principales se explicó 95.57% de la varianza clasificando las muestras de animales alimentados con pienso (Cebo), y para el análisis de imagen con dos componentes principales se explicó el 84.21% de la varianza discriminando las muestras de las categorías Montanera y Recebo. Al aplicar un análisis conjunto de las dos técnicas, con tres componentes principales se explicó el 85.80% de la varianza y se pudieron discriminar las tres muestras, por lo tanto, el conjunto las técnicas de espectrofotometría de infrarrojo cercano (SW-NIR) y lengua electrónica puede ser una herramienta en la clasificación de cerdos de raza ibérica, aunque son necesarios sucesivos estudios a fin de profundizar en las técnicas y obtener una herramienta totalmente fiable y aplicable al sector.

## **RESUM**

En el present treball es van utilitzar les tècniques de potenciometria (llengua electrònica) i anàlisi d'imatge (anàlisi multiespectral d'ona curta que comprén l'espectre de l'infraroig pròxim (SW-NIR)) amb la finalitat de classificar, segons la seua alimentació i de forma no destructiva, porcs de raça ibèrica.

---

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (Iu-IAD).

<sup>2</sup>Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Dto. Tecnología de Alimentos.

<sup>3</sup>Institut d'Automàtica e Informàtica Industrial (ai2).

<sup>4</sup>Departamento de ingeniería electrónica

L'experiència es va realitzar utilitzant greix de porc ibèric de tres categories (Muntanera, Grava i Esquer). Les mostres es van analitzar per mitjà de llengua electrònica i anàlisi d'imatge seguint metodologies establides per a cada una de les tècniques. Amb les dades adquirides es van realitzar anàlisi de components principals (PCA) per a observar si els mètodes discriminaven les mostres i el nivell de discriminació. Amb els resultats obtinguts es va observar que per a la llengua electrònica, amb dos components principals es va explicar 95.57% de la varianza classificant les mostres d'animals alimentats amb pinso (Esquer), i per a l'anàlisi d'imatge amb dos components principals es va explicar el 84.21% de la varianza discriminant les mostres de les categories Muntanera i Grava. A l'aplicar un anàlisi conjunta de les dos tècniques, amb tres components principals es va explicar el 85.80% de la varianza i es van poder discriminar les tres mostres, per tant, el conjunt les tècniques d'espectrofotometria d'infraroig pròxim (SW-NIR) i llengua electrònica pot ser una ferramenta en la classificació de porcs de raça ibèrica, encara que són necessaris successius estudis a fi d'aprofundir en les tècniques i obtenir una ferramenta totalment fiable i aplicable al sector.

## **ABSTRACT**

Potentiometric (electronic tongue) and image analysis (short-wave multispectral analysis covering the near infrared spectrum (SW-NIR)) techniques were used in order to classify Iberian pigs fat as a non-destructively methods. The experiment was carried out using Iberian pig fat from three different categories (Montanera, Recebo and Cebo). The samples were analyzed using electronic tongue and image analysis following the procedures established for each of the techniques. After the acquisition of data principal components analysis (PCA) were performed to see if the methods discriminate the samples and the level of discrimination. With electronic tongue, two principal components explained 95.57% of the variance classifying the samples from animals fed with compound feed (Cebo). With image analysis two principal components explained 84.21% of variance discriminating samples of Recebo and Montanera. Applying a PCA for both techniques together, three principal components explained 85.80% of the variance and the three different samples were discriminated. Therefore, the techniques of near-infrared spectroscopy (SW-NIR) and electronic tongue can be a tool in the classification of Iberian pigs, Further studies are needed in order to accurate electronic tongue and SW-NIR techniques for obtaining a reliable tool suitable for the industry.

**PALABRAS CLAVE:** Potenciometría, espectroscopia, SW-NIR, jamón ibérico, calidad.

## INTRODUCCIÓN

La crianza del cerdo y su relación con la dehesa y la montanera de bellotas de encinas y robles data desde la edad media (Cruz 2005). Esta costumbre ha dado origen a distintos productos cárnicos de gran importancia en las tradiciones gastronómicas y en el desarrollo de la cultura de diferentes zonas de España. Popularmente los jamones, las paletas y los embutidos ibéricos curados son los productos más conocidos, aunque últimamente también está aumentando la comercialización de carne fresca en los lineales a través de las nuevas formas de envasado lo que destaca por sus altos niveles de facturación (Cruz 2005).

En 2009, según la fuente, se sacrificaron entre 29 (ANAPORC) y 38.7 millones (MARM) de animales, lo que ubica a España como el segundo productor de carne porcina en la comunidad europea después de Alemania. De los cerdos sacrificados en España en 2009, un 7.1% fue de animales criados en extensivo (MARM). Las características del cerdo ibérico están dadas por factores bastante estudiados como: la raza del cerdo, ejercicio físico desarrollado, peso del animal al sacrificio y sobre todo la distribución y tipo de alimentación a lo largo del ciclo productivo (Ventanas et al 2001). Con la finalidad de reducir el fraude comercial el Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino aprobó una ley que regula el mercado de productos cárnicos Ibéricos (BOE 264, R.D. 1469/2007). Este reglamento establece, en función de la alimentación durante el período de engorde de los cerdos, cuatro categorías comerciales de productos ibéricos curados: cerdos criados al aire libre (montanera) con acceso gratuito a los recursos naturales (bellotas y hierba), animales alimentados con bellotas y hierba, pero complementación de piensos concentrados (recebo), cerdos ibéricos alimentados con concentrados al aire libre (cebo de campo) y animales criados en confinamiento y alimentados con dietas comerciales (cebo).

El aumento del consumo de productos ibéricos en los últimos años, ha hecho que se incremente el empleo de piensos compuestos como alternativa a la alimentación en montanera (dada la limitación de ésta). Esta actividad resulta beneficiosa desde el punto de vista económico, sin embargo la calidad de los productos procedentes de cerdos de pienso no es la misma que la de los productos de cerdos de montanera (Pérez-Palacios et al 2008). Por lo tanto las empresas productoras de jamón se ven obligadas a realizar determinaciones analíticas que resultan costosas, que implican largos períodos de tiempo e involucran a personal con formación específica con el fin de diferenciar productos provenientes de cerdos cebados con uno u otro tipo de alimentación, y así asegurar el cumplimiento de los requisitos para evitar el fraude.

Con la finalidad de regular el mercado de productos cárnicos Ibéricos, en la última década, la proporción de los principales ácidos grasos (FA) de la grasa subcutánea (palmítico (C16: 0), (C18: 0) esteárico (C18: 1 - n 9), oléico y linoléico (C18: 2 n - 6) se ha utilizado para la clasificación de los cerdos ibéricos en función de sus antecedentes de alimentación durante el engorde (BOE ORDEN PRE/3844/2004). Este procedimiento fue útil mientras los animales fueron alimentados con concentrados tradicionales,

que no fueron enriquecidos con ácidos grasos monoinsaturados (MUFA). Sin embargo, con el uso actual de piensos enriquecidos con MUFA este procedimiento de clasificación podría no ser factible para los cerdos ibéricos (Pérez-Palacios et al 2009). Además, aún siendo obligatorio el cumplimiento de la norma de clasificación, no se evalúan la totalidad de las canales sino una muestra representativa que oscila entre el 20 y 50% de los cerdos de cada partida (García-Olmo et al 2009) lo que provoca la aparición de fraudes.

Por lo tanto sería necesaria la implementación de herramientas rápidas, no destructivas, de pequeño tamaño, seguras, fiables y que no necesiten de personal específico para el control del posible fraude. Así el uso de lenguas electrónicas (potenciometría) y la espectroscopía de imagen (SW-NIR) surgen como técnicas de fácil uso, rápidas, relativamente económicas y viables para el control de tipos comerciales de cerdo de raza ibérica en función de la alimentación recibida.

La lengua electrónica se puede definir como un sistema para el análisis automático de líquidos, que incluye una matriz de sensores químicos no específicos con una especificidad parcial para los diferentes componentes en muestras líquidas y un reconocimiento de patrones adecuados capaces de reconocer la composición cualitativa y cuantitativa de la muestra y soluciones complejas (Chaudhari et al 2006). En la actualidad se está incrementando el uso y el desarrollo de sensores químicos de estado sólido. Este hecho obedece a lo simple de su funcionamiento, su pequeño tamaño, resistencia y a su costo reducido, ya que es posible emplear técnicas de fabricación masiva que además significan mayor reproducibilidad en la construcción del dispositivo (Madou y Morrison 1990).

En términos potenciométricos las lenguas electrónicas se basan en la medición del potencial con el fin de conocer la actividad de una sustancia en disolución. El objetivo de una medición potenciométrica es obtener información acerca de una composición de una disolución mediante el potencial que aparece entre dos electrodos que están a la vez inmersos en el sistema acuoso de estudio. El electrodo de referencia mide el mismo potencial cualquiera que sea la naturaleza de la disolución y electrodo indicador genera un potencial cuyo valor es dependiente de la composición del analito en la disolución (Gil et al 2008). Los electrodos de referencia están constituidos por un conductor metálico en contacto con una sal poco soluble de su metal, y una disolución de composición constante y alta concentración llamado electrolito de referencia. El electrodo indicador ideal responde de forma rápida y reproducible a los cambios de actividad de ión analito. Los electrodos indicadores metálicos se forman a partir de metales o aleaciones especiales y se dividen en distintas clases dependiendo del metal y la interfase que se genera al introducir el electrodo en una disolución. Pese a que el uso de lenguas electrónicas se ha encaminado al análisis de líquidos en la industria alimentaria existen diversos trabajos que han aplicado la técnica conductividad potenciométrica a diferentes matrices sólidas, determinación de cloruros y nitratos en carne de cerdo (Pérez-Olmos et al 1997, Kaneki N. et al 2004), salado de carnes (García-Breijo et

al 2008) y la evaluación de frescura de pescado (Gil et al 2006, Gil et al 2008).

La espectroscopía de infrarrojo cercano (SW-NIR) se basa en la absorción electromagnética de un haz de luz comprendido en el rango de longitudes de onda que va desde los 780 a los 2500 nm. El espectro del NIR se genera mayoritariamente por vibraciones producidas en forma de sobretonos que resultan de los enlaces químicos entre C-H, O-H y N-H como consecuencia de la incidencia del haz de luz. Los enlaces químicos presentes entre las moléculas generan una vibración que se comporta como un movimiento armónico simple. El movimiento de cada átomo puede ser tratado como una vibración independiente con respecto a un centro fijo de la masa de la molécula y no como una masa sujeta a un resorte. La frecuencia de la vibración es función de la masa de los dos átomos y de la fuerza de atracción entre ellos y hay una relación parabólica entre la energía potencial y la distancia ínter atómica. Cuando la molécula vibra genera una radiación. Esta vibración genera una transferencia neta de energía que puede ser medida y graficada como energía versus longitud de onda. Esta medida se conoce como el espectro (Osborne, 2000).

En la actualidad se dispone de pocas investigaciones sobre esta técnica en alimentos. Algunas de ellas van encaminadas a la determinación de grasa, proteína y lactosa en leche (Sasic y Ozaki, 2001), contenido de azúcar en yogurt (He et al 2007), determinación del momento de cosechado del mango (Subedi et al 2007), así como estudios en cereales, patata y en parámetros relacionados con la humedad en productos cárnicos y pescado ahumado (Dah-Jye Lee et al 2008).

Por lo tanto, teniendo en cuenta el interés que presenta el sector de la industria alimentaria de derivados de cerdo ibérico en el control la materia prima, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las técnicas de potenciometría (lengua electrónica) y de espectrofotometría de infrarrojo cercano (SW-NIR) para diferenciación de distintos tipos de grasa de cerdo ibérico en función del tipo de alimentación recibida.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

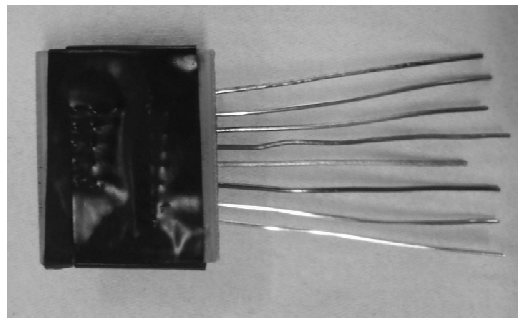
### **Selección y preparación de muestras.**

Se utilizó grasa procedente de la zona subcutánea del jamón de cerdos ibéricos de tres categorías; montanera, recebo (mixto montanera y pienso) y cebo (sólo pienso) estipuladas en la norma española de calidad del jamón ibérico. Las muestras, clasificadas en estos tres grupos, fueron suministradas por una empresa productora de productos ibéricos, las cuales fueron congeladas y transportadas en congelación. Para la realización de los análisis, las muestras se dejaron a temperatura ambiente y posteriormente se realizaron las medidas con la lengua electrónica y análisis de imagen.

## Sistema de medida de la lengua electrónica

Las medidas potenciométricas se realizaron con un sistema de tres módulos desarrollado por el departamento de ingeniería electrónica y el departamento de tecnología de alimentos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

El primer módulo capta la corriente al paso de la tensión. Consiste en un multisensor potenciométrico formado por 8 electrodos de diversos materiales: 3 electrodos de oro (Au1, Au2 y Au3), 3 de plata (Ag1, Ag2 y Ag3) y 2 de cobre (Cu1 y Cu2) (figura 1). La longitud de cada electrodo es de unos 3 cm y de grosor variable (0,8 mm a 1 mm) según el material. Los electrodos están soldados a una placa de circuito impreso que sirve de soporte a todo el sistema y, mediante un conector adecuado, lleva la señal captada a un sistema de acondicionamiento de la señal. Al modulo también se le incorporó un electrodo de referencia de calomelanos. Se realizaron seis medidas por muestra. Para la realización de las medidas, las muestras fueron pinchadas con los electrodos, realizándose una limpieza de éstos con agua y acetona antes de cada una de las medidas.



**Figura 1.** Electrodo metálicos

El segundo módulo se fundamenta en un sistema de acondicionamiento de señal dividido en dos etapas. Una primera de muy alta impedancia ( $T\Omega$ ) y muy baja corriente de polarización, formada por amplificadores electrométricos. La segunda etapa está formada por un filtro de señal que elimina las interferencias provenientes de la red eléctrica y señales de alta frecuencia. Para el correcto funcionamiento del conjunto se utiliza un sistema de alimentación que transformaba la tensión de la red eléctrica alterna de 220V a tensión eléctrica continua de valor  $\pm 5V$  para la alimentación de los circuitos integrados analógicos.

El tercer módulo se basa en la adquisición y digitalización de los datos para lo que se utiliza una tarjeta PCI-9112 de Adlink ([www.nudaq.com](http://www.nudaq.com)) incorporada a un ordenador, así como el software EEV-Pro (Agilent Tecnologías, Santa Clara, CA, [www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)). El procesamiento de los datos se realizó con el programa Matlab (The Mathworks, Natick, Massachusetts, USA).

## Sistema de medida de imagen

Las medidas de imagen se realizaron con un sistema de dos módulos desarrollado por el Instituto de Automática e Informática Industrial y el grupo Cuina del departamento de tecnología de alimentos de la UPV.

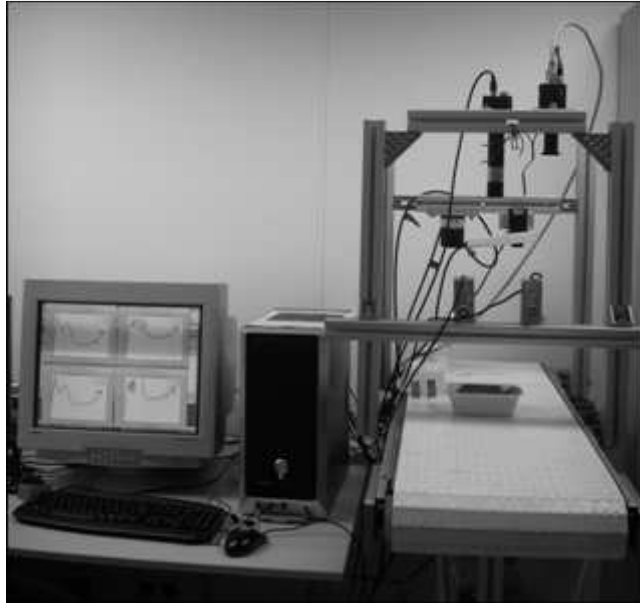
En el primer módulo se realizó la captura de imágenes. Para ello se montó y calibró el conjunto de la cámara CCD 102f (Basler Vision Technologies., Ahrensburg, Alemania) y el filtro Specim ImSpector V10 1/2" (Specim Spectral Imaging, LTD., Oulu, Finlandia) que se comportó como una cámara multispectral lineal que abarca desde el rango visible hasta el infrarrojo cercano, con un rango de 400 a 1040 nm de longitud de onda. La iluminación de la muestra se realizó con dos lámparas de luz halógenas HI-SPOT 50W 230V (Havells Sylvania, Gennevilliers, Francia) de forma indirecta para evitar en lo posible reflejos. La posición del iluminante y de la cámara siempre fueron constantes para obtener el mismo tamaño de imágenes. Se dejaron 18 cm de distancia entre el iluminante y la muestra y 40 cm entre la muestra y la cámara (figura 2).

Sobre cada una de las muestras se tomaron 6 líneas de imagen. Las imágenes así capturadas representaron la reflectancia de luz para cada muestra. Esta reflectancia se obtiene como consecuencia de que el iluminante irradia la muestra, con lo que parte de la radiación se difunde en forma de calor tanto al ambiente como en la muestra, mientras que la radiación restante es reflejada por la propia muestra, siendo captada por la cámara y representada en una escala de blanco y negro con 256 tonos de grises entre blanco y negro. Con la finalidad de eliminar la influencia de la luz, se capturó una imagen de un patrón blanco, bajo las mismas condiciones de captura de imagen.

En el segundo módulo se realizó el tratamiento de las imágenes y la extracción de datos. Una vez obtenidas las imágenes y con el fin de generar el espectro, se seleccionó un área central de estudio, estandarizando así la zona de estudio para cada una de las muestras. Sobre cada una de estas aéreas se calculó la reflexión para cada longitud de onda, siendo el espectro de la muestra el conjunto de valores de reflexión de ésta para todas las longitudes de onda evaluadas. Con la finalidad de reducir las diferentes intensidades de luz del foco iluminante, que se dan a diferentes longitudes de onda, se aplicó un filtrado.

Una vez normalizados los espectros, se calculó la inversa de su logaritmo y se le aplicó una función de ajuste al entero más cercano para mejorar su visualización.





**Figura 2.** Equipo de medida de imagen.

### **Análisis estadístico**

Se empleó la técnica de análisis de componentes principales (PCA) de manera individual para los datos obtenidos a partir de la lengua y de la imagen, buscando comprimir y extraer toda la información relevante del voluminoso conjunto de datos obtenidos. La finalidad del análisis de componentes principales fue realizar una clasificación de los diferentes tipos de grasa en función de la agrupación de las lecturas obtenidas. Posteriormente se utilizó el mismo procedimiento de manera conjunta (datos, imagen y lengua) con la finalidad de evaluar la posible interacción, a fin de incrementar la posible discriminación.

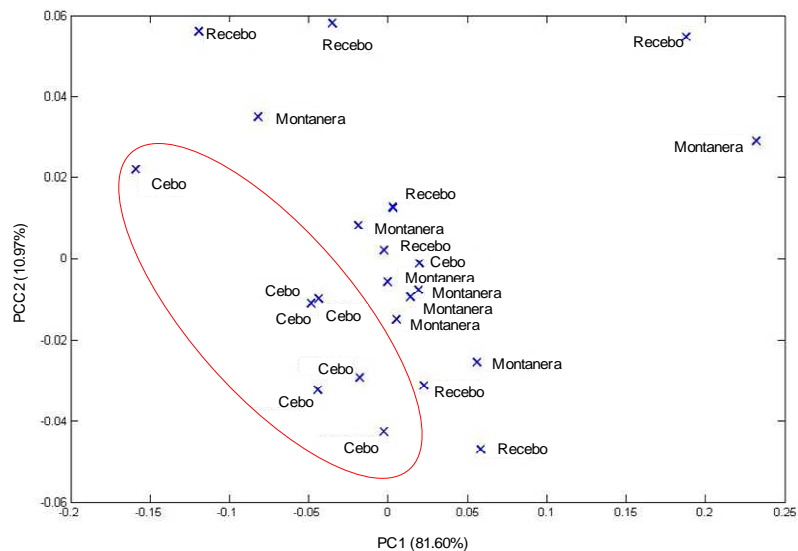
Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa Matlab (The Mathworks, Natick, Massachussets, USA).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis potenciométrico**

La figura 3 muestra el diagrama bidimensional de las medidas de lengua electrónica aplicando el análisis de componentes principales. Como se puede observar mediante los dos primeros componentes se explicó un 92.57% de la varianza de las muestras siendo el peso de la componente 1 (PC1) del 81.60 % y la de la componente 2 (PC2) del 10.97% de la varianza entre muestras. La población de muestras pertenecientes a los datos provenientes de animales alimentados a base de pienso (cebo) mostraron una buena agrupación, siendo menor la agrupación observada para los datos pertenecientes a los animales en régimen de montanera. En cambio

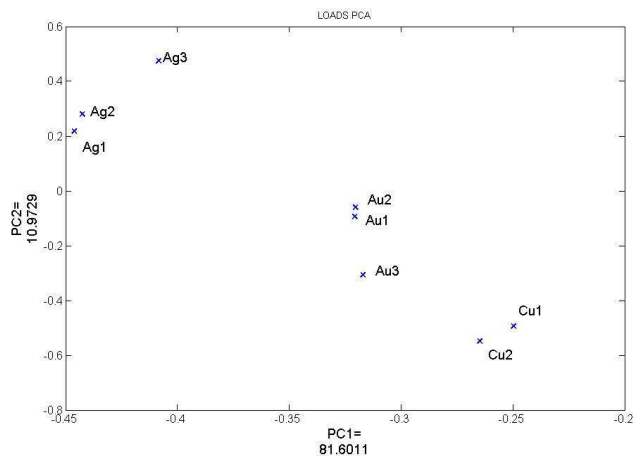
los datos provenientes de los animales de recebo (mixto montanera y pienso) mostraron una gran dispersión entrecruzándose con los obtenidos por los de los animales alimentados en montanera. Este resultado podría ser atribuido a un comportamiento electroquímico diferente para cada tipo de grasa, los cuales serían más parecidos entre las muestras de animales de montanera y de recebo que entre éstos y los de los alimentados sólo con pienso (cebo).



**Figura 3.** Análisis de componentes principales de las medidas de lengua electrónica.

El análisis estadístico del peso de cada uno de los electrodos utilizados en la toma de datos (figura 4) mostró la reproducibilidad de la medida realizada con estos electrodos al presentarse agrupados. Los electrodos de plata (Ag) y cobre (Cu) determinaron mayoritariamente la variación de los componentes, por lo que si se hubiese de prescindir de la utilización de un electrodo, a fin de reducir la cantidad de datos que se generan en cada medida, éste sería el de oro.

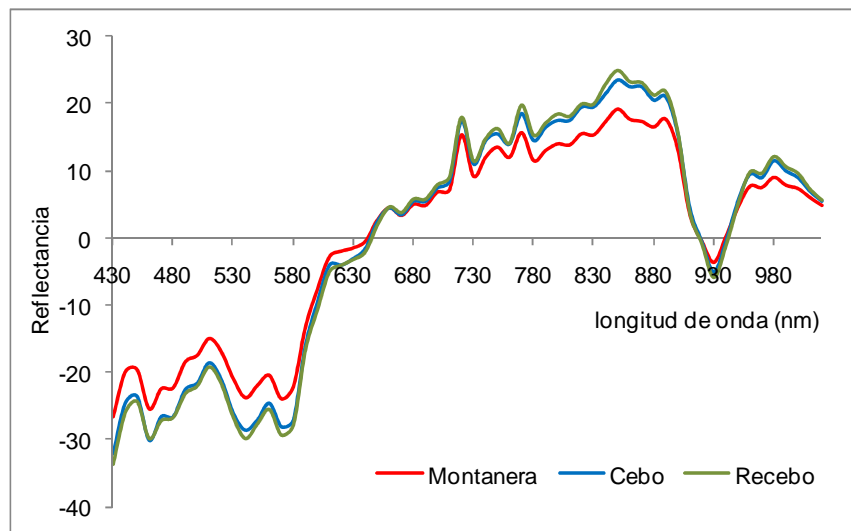
Así, en base a los resultados obtenidos por los electrodos, éstos podrían llegar a ser capaces de discriminar entre jamones procedentes de cerdos alimentados a base de pienso de aquellos en los que está presente la montanera, bien en su totalidad o combinada con pienso.



**Figura 4.** Peso de cada una de los electrodos en el valor de los parámetros principales.

### Análisis de imagen

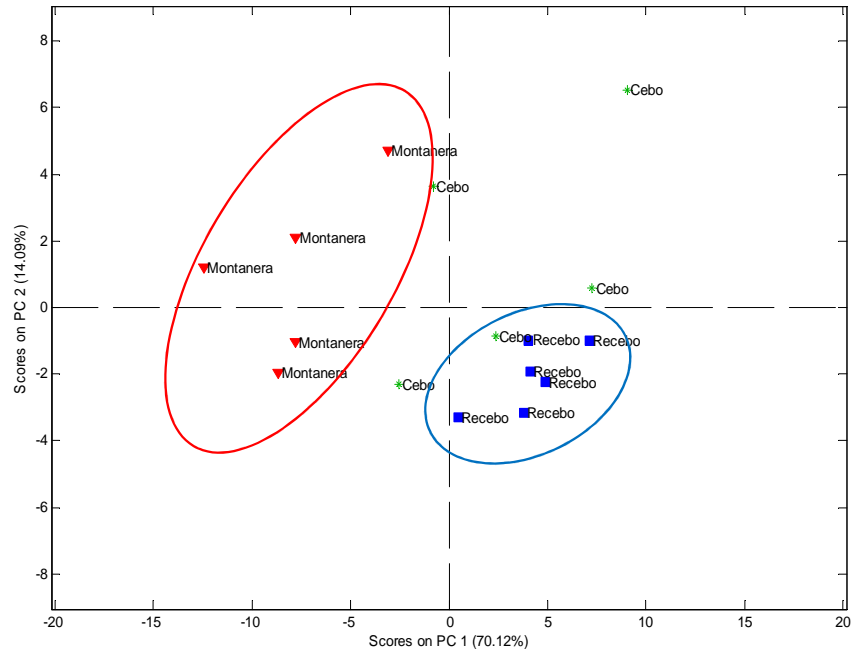
La figura 5 muestra la media de los espectros de reflectancia, comprendidos entre los 430 nm y 1040 nm para los tres tipos de grasas en estudio. Como se observa el espectro obtenido para la muestras de los animales alimentados en montanera presentó valores superiores a longitudes de onda bajas e inferiores a longitudes de onda altas) frente al obtenido para los de cebo y recebo.



**Figura 5.** Media de los espectros de reflectancia (430 - 1040 nm) obtenidos para las grasas de cerdo procedentes de animales alimentados en montanera, recebo y cebo.

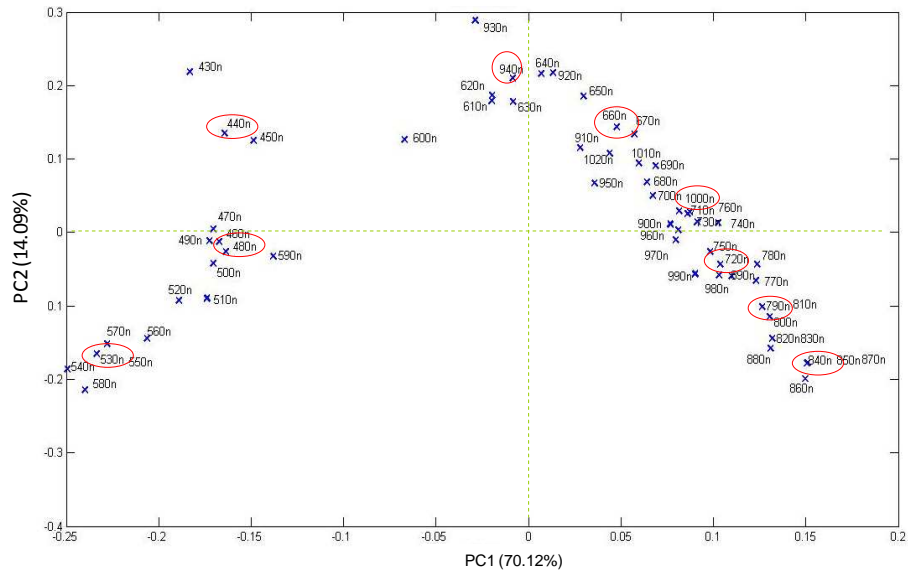
Al aplicar un análisis estadístico de componentes principales (figura 6) los dos primeros componentes explicaron el 84.21% de la varianza de los datos (PC1 70.12% y PC2 14.09%). Se observó una buena agrupación de

todas las muestras de montanera y recebo con el primero y segundo componente, quedando discriminadas en dos poblaciones diferentes. En cambio las muestras de grasa de los animales alimentados sólo con pienso quedaron dispersas incluyéndose incluso en los dos grupos mencionados.



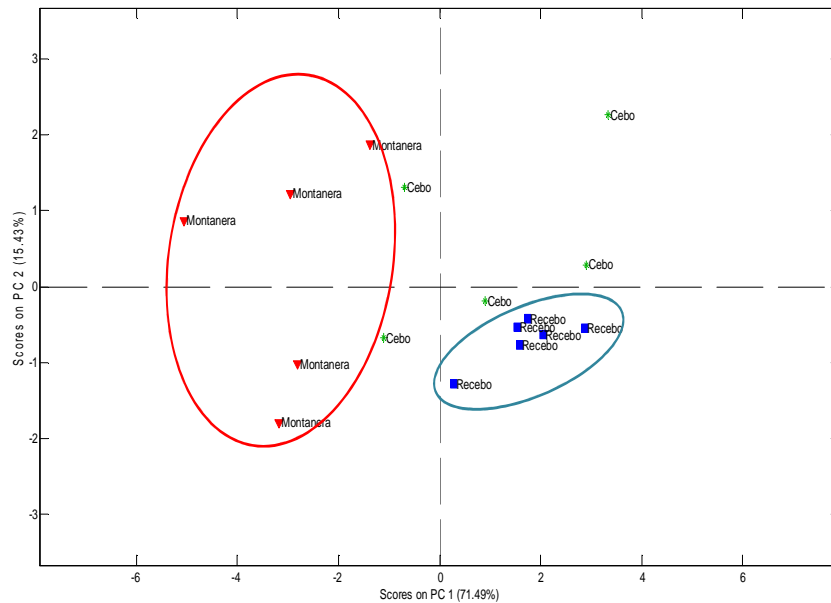
**Figura 6.** Análisis de componentes principales para las muestras de los tres diferentes tipos de grasa.

El análisis de las longitudes de onda de la señal (figura 7) mostró como aquellas se distribuyeron mayoritariamente en dos grupos, en base al primer componente. Las longitudes de onda menores se localizaron en el rango de los valores negativos y las longitudes de onda mayores en el de los valores positivos. Igualmente se observó como gran parte de estas longitudes de onda se encontraron muy cerca unas de otras lo que indicó la existencia de una alta correlación. Así pues y dado que para un mismo grupo de longitudes la información aportada fue la misma, con la finalidad de reducir la cantidad de datos que conlleva el análisis de imagen se procedió a realizar una selección de aquellas longitudes de onda más influyentes. Por lo tanto, partiendo de la proyección de los datos sobre los ejes de los componentes se seleccionaron 9 longitudes de onda que representaron la información suficiente para la discriminación de las muestras. La selección se realizó utilizando el algoritmo descrito por Holland en 1975. Como puede observarse en la figura 6 las longitudes de onda seleccionadas fueron 440, 480, 530, 660, 720, 790, 840, 940 y 1000 nm.



**Figura 7.** Análisis de componentes principales de las longitudes de onda. Las longitudes de onda seleccionadas como más influyentes están circunscritas en círculos.

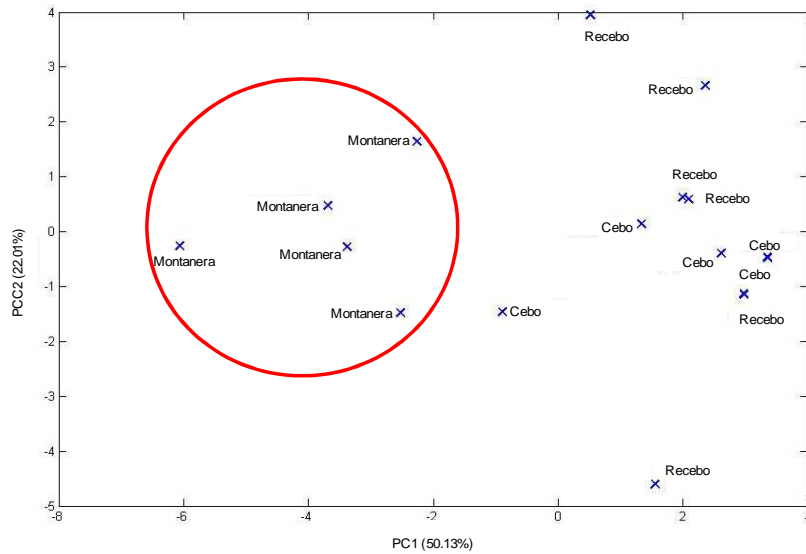
Mediante el uso de las 9 longitudes de onda seleccionadas con el algoritmo, no sólo se mantuvo la discriminación entre las tres poblaciones de muestras sino que se incrementó ligeramente el tanto por cien de las dos primeras principales componentes (figura 8) ( $PC1 = 71.49\%$ ;  $PC2 = 15.43\%$ ). Esta mejor agrupación de las muestras, al reducir el volumen de longitudes de onda, ya fue observada en otros trabajos (Grau et al 2010), los cuales atribuyeron este comportamiento al hecho de que información aportada por ciertas longitudes de onda enmascara la aportada por aquellas con mejor función discriminante.



**Figura 8.** Análisis de componentes principales para las muestras de los tres diferentes tipos de grasa a partir de la información aportada por las longitudes de onda seleccionadas por el algoritmo (440, 480, 530, 660, 720, 790, 840, 940 y 1000 nm).

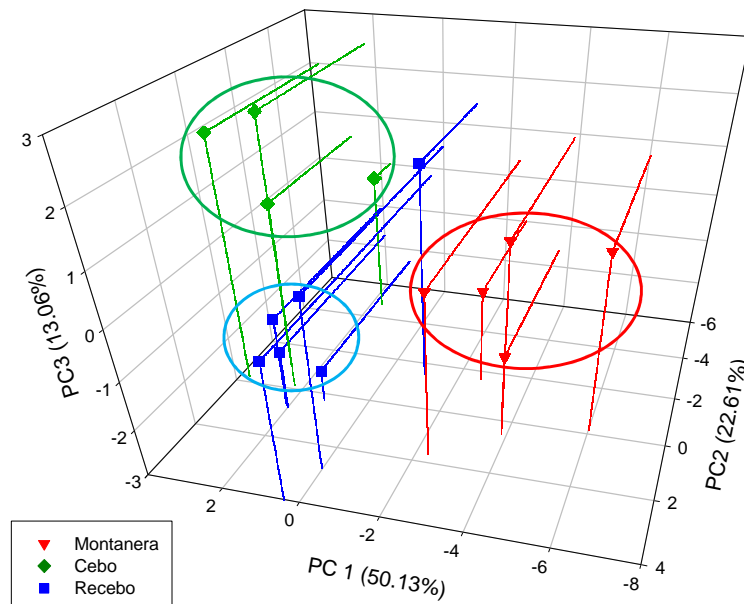
**Análisis conjunto de potenciometría (lengua electrónica) y espectrofotometría de infrarrojo cercano (SW-NIR)**

Dado que mediante el análisis de potenciometría se pudo discriminar aquellas muestras de grasa de animales alimentados sólo con pienso (cebo) y que mediante el análisis de imagen se discriminaron aquellas procedentes de animales alimentados en montanera o en recebo, se procedió a realizar un análisis conjunto de los datos de potenciometría y de imagen. Al realizar la normalización de los datos de la lengua electrónica y los datos de imagen, y analizar la información en una sola matriz para aplicar el análisis de componentes principales se observó como mediante las dos primeras componentes se explicó el 72.72% de la varianza de los datos (figura 9) (PC1 = 50,12% y PC2 = 22,60%). Dado el bajo porcentaje, sólo se pudo discriminar las muestras de grasa de los animales alimentados en montanera, mientras que las otras dos poblaciones de muestras no pudieron ser discriminadas (figura 9).



**Figura 9.** Análisis de componentes principales para las muestras de los tres diferentes tipos de grasa a partir de la información aportada por la potenciometría y el análisis de imagen. Análisis bidimensional.

Al tener en cuenta el tercer componente (PC3 = 13.06%) la varianza de las muestras se explicó en un 85,80% y como se observa en la figura 10 se produjo la discriminación de los tres grupos de poblacionales estudiados, grasa de cerdo de animales alimentados en montanera, recebo (mixto montanera y pienso) y solo con pienso (cebo).



**Figura 10.** Análisis de componentes principales para las muestras de los tres diferentes tipos de grasa, a partir de la información aportada por la potenciometría y el análisis de imagen. Análisis tridimensional.

## CONCLUSIONES

Aunque la aplicación de las técnicas de potenciometría y análisis de imagen por sí solas no son capaces de discriminar entre los diferentes tipos de grasa, en función del tipo de alimentación recibido por los animales, dado que mediante la técnica de potenciometría sólo se puede discriminar aquellas procedentes de animales alimentados con pienso y mediante la del análisis de imagen los alimentados en montanera y en recebo, la combinación de ambas técnicas ha sido capaz de diferenciar los tres tipos de grasa.

Futuros estudios son necesarios con la finalidad de seleccionar otros posibles electrodos y longitudes de onda con los que poder realizar una clasificación robusta que pueda ser usada como herramienta de control de un posible fraude.

## REFERENCIAS

- Asociación nacional de porcicultura científica (ANAPORC)  
Dirección URL:< <http://www.anaporc.com/>>
- BOE (2007) Real Decreto 1469/2007, de 2 de noviembre
- BOE (2004) ORDEN PRE/3844/2004, de 18 de noviembre
- Chaudhari A. P, Sharma P. K, Chaudhari P. D, Chaudhari S.P, Barhate N. J Mistry S. C. (2006). Electronic Tongue: A Review. Latest Reviews Pharmaceutical Reviews 4, 3
- Cruz. J.(2010). El sector ibérico necesita reflexionar sobre cómo encauzar su futuro para evitar repetir la situación actual. Eurocarne 186 (43-56)
- Cruz. J. (2009). El sector del ibérico atraviesa momentos difíciles por la caída en la demanda y la sobreproducción. Eurocarne 180 (1-7)
- Cruz. J. (2005) El sector ibérico: análisis de la producción de carnes frescas y de productos curados. Eurocarne 141 (1-7)
- Dah-Jye, L.; Robert, S.; James, A.; Steve M. 2008. Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging. Journal of Food Engineering 86, 388–398
- García-Breijo Eduardo, Barat José M, Torres Olga, Grau Raúl, Gil Luis, Ibáñez Javier, Alcañiz Miguel, Masot Rafael, Fraile Rubén (2008). Development of a puncture electronic device for electrical conductivity measurements throughout meat salting. Sensors and Actuators. 148, 1 (63-67)
- García-Olmo J, Garrido-Varo A, De Pedro E. (2009). Classification of real farm conditions Iberian pigs according to the feeding regime with multivariate models developed by using fatty acids composition or NIR spectral data. Grasas y Aceites, 60 (3) 233-237
- Gil Luis, Barat José M, Escriche Isabel, Garcia-Breijo Eduardo, Martínez-Mañez Ramón, Soto Juan. (2008). An electronic tongue for fish freshness analysis using a thick-film array of electrodes. Microchimica Acta. 163 1-2 (121-129)
- Gil Luis, Barat José M, García-Breijo Eduardo, Ibáñez Javier, Martínez-Mañez Ramón, Soto Juan, Llobet Eduard, Jesús Brezmes, Aristoy M. Concepción, Toldrá Fidel. (2008). Fish freshness analysis using metallic potentiometric electrodes. Sensors and Actuators 131, 2 (362-370)
- Gil L, Garcia-Breijo E, Ibáñez J, Labrador R H, Llobet E, Martínez Mañez R, Soto J (2006) Electronic tongue for qualitative analysis of aqueous solutions of salts using thick-film technology and metal electrodes. Sensors 9: 1128
- Grau Raúl, Sánchez Antonio, Girón Joel, Iborra Eugenio, Fuentes Ana, Barat Jose. (2010). Nondestructive assessment of freshness in packaged sliced chicken breasts using SW-NIR spectroscopy. Food Research International. doi:10.1016/j.foodres. 2010.10.011
- He, D. Wu.; S, J. Feng. 2007. Fast measurement of sugar content of yogurt using Vis/NIR-spectroscopy, International Journal of Food Properties, 10, (1), 1–7.
- Holland, J. (1975). Adaptation in Natural Selection and Artificial Systems. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Press.



- Kaneki N, Miura T, Shimada K, Tanaka H, Ito S, Hotori K, Akasaka C, Ohkubo S, Asano Y. (2004) Measurement of pork freshness using potentiometric sensor. *Talanta* 62: 217
- M. J. Madou, S. R. Morrison. *Chemical sensing with solid state devices*. Academic Press., San Diego (1990)
- Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino  
Dirección URL:<<http://www.marm.es/>>
- Osborne, Brian G. 2000. Near-infrared Spectroscopy in Food Analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation Volume 12: Electronic Absorption and Luminescence, Gas Chromatography, Infrared Spectroscopy, Kinetic Determinations*. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Pérez-Olmos R, Herrero R, Lima J L F C, Montenegro MC. (1997) Sequential potentiometric determination of chloride and nitrate in meat products. *Food Chemistry* 59: 305
- Pérez-Palacios. T, Ruiz. J, Antequera. T (2008) Perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea e intramuscular de cerdos ibéricos cebados en montanera y con pienso "alto oleico" *Eurocarne* 163 (1-10)
- Pérez-Palacios T, Ruiz J, Tejeda JF, Antequera T. (2009). Subcutaneous and intramuscular lipid traits as tools for lassifying Iberian pigs as a function of their feeding background. *Meat Science* 81, 4,(632-640)
- Sasic, S : Ozaki, Y., 2001. Short-wave near-infrared spectroscopy of biological fluids. 1. Quantitative analysis of fat, protein, and lactose in raw milk by partial least-squares regression and band assignment. *Anal-Chem.* Jan 1; 73(1), 64-71.
- Subedi, P.P.: Walsh, K.B.; Owens, G. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 3, 326-334.
- Ventanas Barroso J, Tejeda Sereno J, Petróñ Testón M, Andrés I, Antequera T, Ruiz J, Córdoba J, González E, Asencio A, Díaz C, Bermúdez E, Cava R, Martín R, Rodríguez M. Nuñez F, Carrapiso A. (2001). *Tecnología del jamón Ibérico: de los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 131-160.