

Aplicaciones de la tomografía computerizada en el campo de la producción y la tecnología de alimentos

En este trabajo los autores describen las diversas aplicaciones que la tomografía computerizada tiene en la producción agrícola y ganadera y en la tecnología alimentaria. Esta técnica no invasiva se puede utilizar tanto para la determinación de la composición de los alimentos, y de los animales vivos o sus canales, como para seguir la difusión de la sal durante el proceso de curado del jamón.

Anna Carabús, Elena Fulladosa, Núria García-Gil, Marina Gispert y María Font i Furnols

IRTA
Finca Camps i Armet
17121 Monells (Girona)

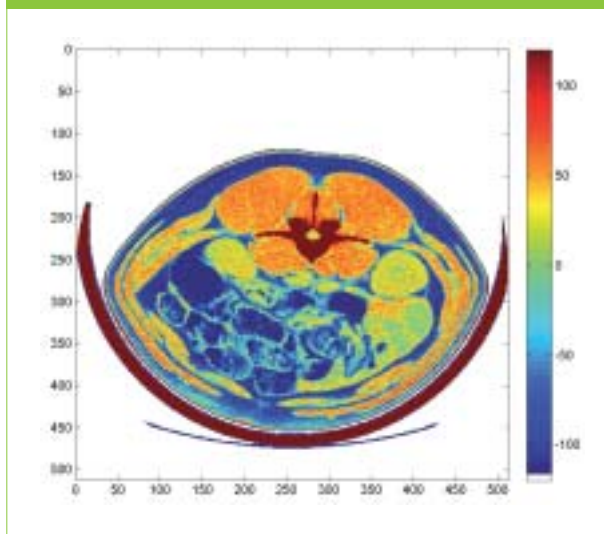


¿En qué consiste la tomografía computerizada?

Los rayos X son ondas electromagnéticas que pueden atravesar la materia, perdiendo en este proceso, parte de su energía inicial. La tomografía computerizada (TC) consiste en la obtención de imágenes digitales de secciones de un objeto, llamadas tomogramas, a partir de una serie de proyecciones producidas por los rayos X (Kalender, 2005; Seeram, 2009).

La aplicación de la TC en el campo de la producción y la tecnología de alimentos se basa en las diferentes atenuaciones que producen los distintos tejidos biológicos, dependiendo de su densidad, sobre los rayos X que los atraviesan. Por esta razón, en los tomogramas obtenidos se distinguen los diferentes tejidos y estructuras biológicas. Es de especial utilidad porque se trata de una tecnología no invasiva.

Figura 1. Tomograma de la zona abdominal de un cerdo vivo



Aplicaciones de la tomografía computerizada

El equipo de TC es muy utilizado en medicina humana para el diagnóstico de diferentes tipos de enfermedades (Jongbloed *et al.*, 2005). También se encuentran otras utilidades de la TC en agricultura (Elliot *et al.*, 2010), forestales (Schmoldt *et al.*, 1999), etc. Del mismo modo, esta técnica se ha aplicado en alimentación y se ha comprobado que puede ser una herramienta muy valiosa para la estimación de la composición de los alimentos. En este sentido, en el campo de la fruta, se han hecho estudios para determinar el contenido de agua de las manzanas (Tollner *et al.*, 1992), para determinar cambios internos en el melocotón (Barcelon *et al.*, 1997) o para determinar el grado de madurez del tomate (Brecht *et al.*, 1991). También se han hecho estudios con animales y sus canales. En acuicultura se ha evaluado la forma del cuerpo del salmón y los contenidos de grasa del mismo (Einen *et al.*, 1998); en avicultura se ha medido la producción de carne de pechuga en pollos Broiler (Remignon *et al.*, 1997); en ovinocultura se ha estudiado la composición de corderos vivos (Toldi *et al.*, 2007) y de sus canales (Johansen *et al.*, 2007); en porcicultura se ha medido la deposición y distribución de la grasa (Kolstad, 2001), la composición del cuerpo del cerdo en vivo (Luiting *et al.*, 1995), y en canal (Font i Furnols *et al.*, 2008). Así pues, la aplicación de TC en animales es de gran importancia para determinar la composición del cuerpo y, en términos económicos, re-

Ciencia y Experiencia a su servicio



LABORATORIO DE ANÁLISIS Y ASESORAMIENTO TÉCNICO QUÍMICA, MICROBIOLOGÍA Y GENÉTICA

Laboratorio Autorizado por el Ministerio de Sanidad y MARM
 Empresa Colaboradora del Ministerio de Medio Ambiente
 Acreditado para el control de Antibióticos y Residuos en Carnes

ANÁLISIS PARA

- Industria Alimentaria
- Residuos de Acción Farmacológica
- Patología Animal
- Aguas potables
- Vertidos industriales

ASESORÍA EN

- Proyectos de Calidad (ISO 9000)
- A.P.P.C.C.
- Normativa
- Control de Procesos



Análisis y Consultoría

Central

E-mail: alkemi@alkemi.es

C/ Tierra de Barros, 2
 28820 COSLADA (Madrid)

Tel: 91 673 91 49 • Fax: 91 673 91 48

Delegación Noroeste

C/Zaragoza, 52, 5C
 36203 VIGO (Pontevedra)
 Tel/Fax: 986 415 279

Delegación Castilla y León

C/Miriam Blasco P 147, 2ºB
 47014 VALLADOLID
 Tel/Fax: 983 34 59 74

Figura 2. Media canal en el equipo de tomografía computerizada

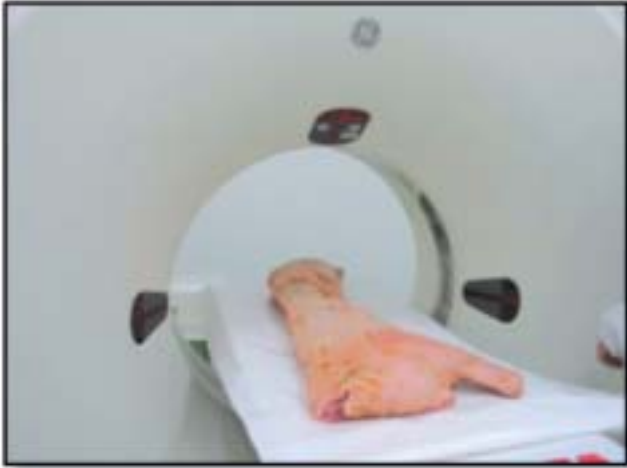


Figura 3. Media canal durante el proceso de escaneo



sulta importante la predicción que se puede hacer del porcentaje de magro de la carne (tanto vivo como en canal), sin necesidad de despiezarla ni disecarla. La TC también se ha usado para determinar la grasa intramuscular (Font i Furnols *et al.*, 2009) y la composición

en ácidos grasos de la carne (Prieto *et al.*, 2010). También permite hacer un seguimiento de la difusión de la sal durante el proceso de curación de la carne así como cuantificar el contenido de sal y agua en distintos momentos del proceso de elaboración del jamón curado (Fulladosa *et al.*, 2010; Santos-Garcés *et al.*, 2010).

Evaluación de la composición corporal de animales vivos

Conocer la composición corporal en animales vivos y la evolución y deposición de las diferentes tejidos durante el crecimiento es vital cuando se quiere optimizar el producto final obtenido, ya sea a partir de la genética o de la alimentación. Está generalmente asumido que la variación en la composición corporal juega un rol importante en el crecimiento de los cerdos. Esta información, referente a la calidad del producto, debería potenciar la comunicación entre los diferentes eslabones de la cadena cárnica, desde los ganaderos al consumidor (Cross y Whittaker, 1992; Kirton y Purchas, 1996). Es bien conocido que a un peso similar, las diferentes genéticas tienen canales con características muy distintas (Gispert *et al.*, 2007), que ya se aprecian a 30 kg de peso (Carabús *et al.*, 2011), obteniendo una gran variedad de tipos de canales según sus espesores de grasa, áreas del lomo, proporción de jamón y contenido en magro, entre otras características. Una de las mejores maneras de estudiar la composición del cuerpo de los animales vivos es usando un equipo de TC ya que los diferentes tejidos tienen densidades diferentes, lo que permite que se puedan distinguir y cuantificar en las imágenes obtenidas (**figura 1**). Dichas imágenes se tratan con *software* adecuados, como el *VisualPork* (Boda *et al.*, 2009), con técnicas estadísticas avanzadas como las regresiones por mínimos cuadrados parciales o PLS, o bien combinando ambas metodologías.

La evaluación en vivo de los animales con TC permite observar *in vivo* e *in situ* el efecto de una dieta determinada (cómo y cuándo se depositan los distintos tejidos), el efecto de las vacunas en el crecimiento y las características de calidad de la canal y de la carne. Además, se pueden obtener coeficientes alométricos de las diferentes características de composición de la canal de interés, ya sea según la genética del animal, el sexo, la alimentación, etc. Hasta la aplicación de estas nuevas tecnologías, era muy difícil conocer la evolución de la composición corporal en el tiempo en un mismo animal. La técnica que se utilizaba era tomar medidas en la zona del lomo mediante ecógrafos o si-

Figura 4. Tomograma donde se ha seleccionado el área del lomo y la grasa subcutánea

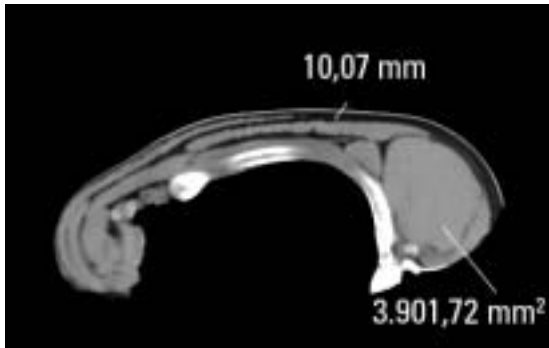
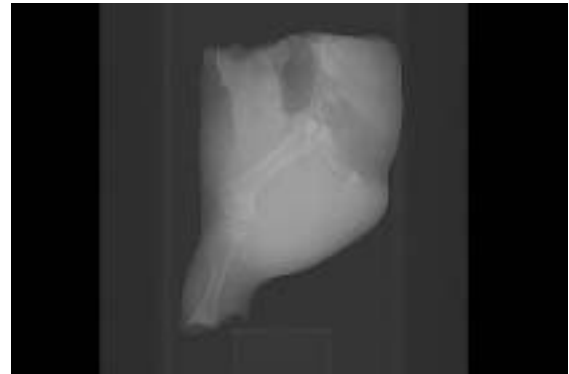


Figura 5. Jamón escaneado

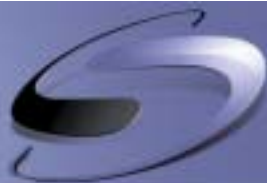


milares, sin embargo, la TC permite un análisis integral del animal. Recientemente, en el IRTA, se ha empezado un proyecto para determinar el crecimiento alométrico de animales de diferentes líneas genéticas y sexos evaluándolos en vivo, con TC, en diferentes momentos de su crecimiento (INIA RTA 2010-00014-00-00).

Caracterización de la canal

El contenido en magro de la canal es muy importante para clasificar dicha canal. Por esta razón, se han hecho bastantes trabajos de investigación en los que se ha estudiado la predicción de este contenido (Font i

Furnols *et al.*, 2001; Gispert y Font i Furnols, 2003). Los mataderos estiman el contenido de magro con equipos basados en ultrasonidos (Autofom, Ultrafom y Ultrameater), reflectancia (Fat-o-Meat'er, Hennessy Grading Probe y Captador Grasa-Magro) y de visión (VCS2000 y Imagemater) o medidas lineales en la línea media de la canal. Para obtener la mejor ecuación para estimar el porcentaje de magro, estos equipos se han de calibrar, lo que requiere llevar a cabo un trabajo extenso: el corte y disección usando el método simplificado de referencia (Walstra y Merkus, 1995) o la disección completa de, al menos, 120 canales representativas. El error de predicción de las ecuaciones



sydel sedep IBERICA

Una solución global para la industria agroalimentaria

CONTROL EN TIEMPO REAL

Solución SYDEL UNIVERS para el pilotaje de los procesos industriales.

- Módulos funcionales, completos, integrados y autónomos:
- Compras-ventas
- GPAD - MES
- Preparación de pedidos
- Gestión de existencias
- Trazabilidad total

DOS GRANDES CAMPOS DE ACTUACIÓN

1 CLASIFICACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y ALMACENAJE



2 PLATAFORMA DE PREPARACIÓN DE PEDIDOS



ROBÓTICA Y MANUTENCIÓN

- MANUTENCIÓN
- ALMACENES AUTOMÁTICOS MINI LOAD CON ALTAS PRESTACIONES
- PALETIZACIÓN AUTOMÁTICA



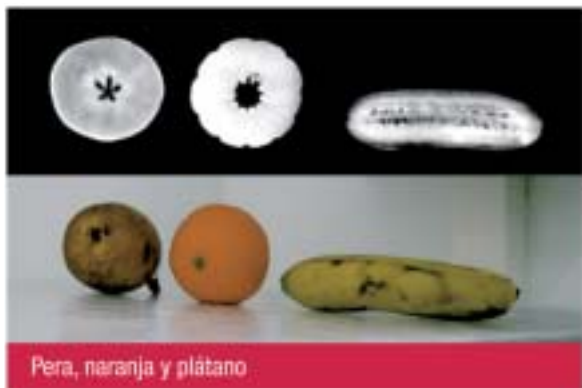
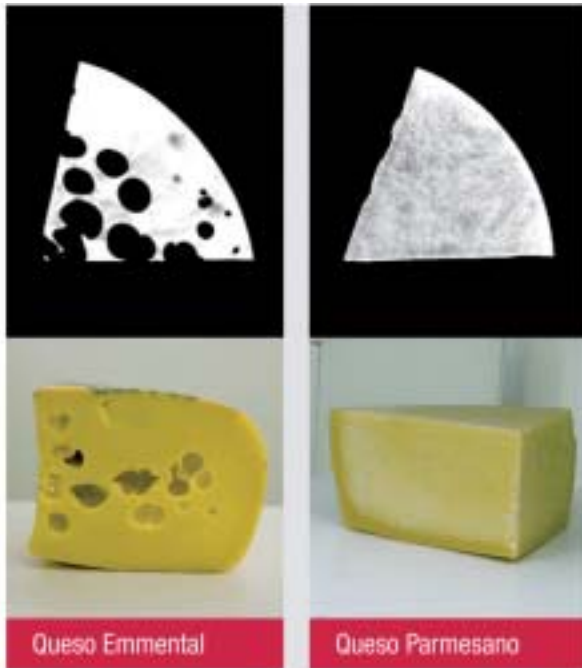
PROCESOS CUBIERTOS

- FRESCOS Y ULTRAPRESCOS
- CONGELADOS Y CURADOS
- CÁRNICOS Y PESCADOS
- LÁCTEOS Y BOLLERÍA

SYDEL SEDEP IBERICA SL

Calle Condado de Treviño, 49. Nave A1, 09001 BURGOS
comercial@sydel-sedep.es
www.sydel-sedep.es
947.29.74.52

Figura 6. Estructura interna de varios alimentos



de estimación tiene que ser menor del 2,5% (Reglamento (CE) n° 1234/2008).

Jopson *et al.* (1995) así como Glasbey y Robinson (1999, 2002) sugirieron la utilización de la TC como método no destructivo alternativo a la disección en estudios donde esta práctica es requerida (figura 2 y 3). A partir de los datos del proyecto *EU EUPIGCLASS*, Dobrowolski *et al.* (2003) recomendaron la utilización de la TC como método de referencia para la estimación del porcentaje de magro y recientemente, esta técnica está permitida por la legislación (Reglamento (CE) n° 1234/2008). Las medidas tomadas con la TC tienen un error de predicción bajo (Judas *et al.*, 2007; Font i Furnols *et al.* 2008), pero escanear la canal entera tiene un coste elevado. Una manera de reducir costes podría ser obtener algunas imágenes en puntos concretos de la canal (figura 4) o escanear sólo algunas piezas (figura 5) ya que esto permitiría reducir costes de imágenes adquiridas y, por tanto, costes totales (Teran *et al.*, 2009).

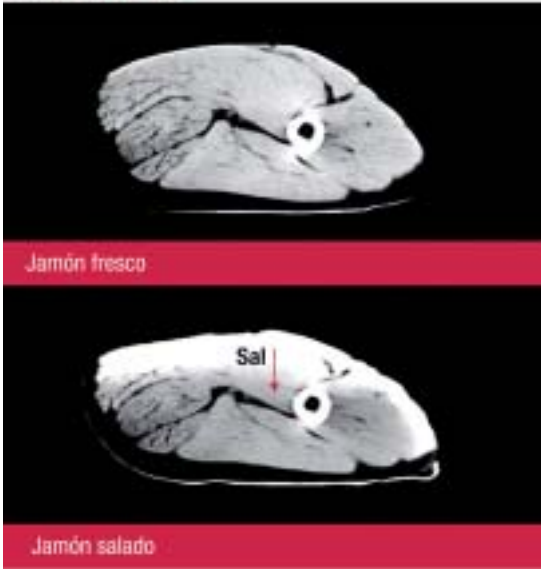
Aplicaciones en el producto final

La TC también puede utilizarse como soporte en el diseño y desarrollo de nuevos procesos y productos, para la evaluación de la calidad del producto final sometido a distintos procesos o formulaciones y para el análisis de estructuras internas de alimentos. En la figura 6 se muestra un ejemplo de las imágenes que se pueden obtener utilizando esta tecnología. Se pueden ver las estructuras internas de los alimentos de forma no invasiva; como por ejemplo la formación de ojos en el queso según el proceso al cual han sido sometidos, el grado de madurez de las frutas o la formación de la estructura del pan según la composición de este.

La tomografía computerizada también tiene un interés especial para el estudio de los procesos de salado y curado de carne. La elevada densidad de los iones de la sal, produce un marcado incremento de los valores de atenuación de la TC. Los iones Na^+ y Cl^- tienen más densidad que los componentes principales de la carne (C, H, N, O), lo cual permite distinguir la presencia de sal en ella. Por este motivo, esta tecnología no destructiva, permite el estudio de la difusión de sal y agua, así como su distribución en una misma pieza a lo largo de todo el proceso de elaboración (figura 7). Además, se han desarrollado modelos de predicción de sal y agua en jamón curado permitiendo determinar los contenidos de sal y agua de cualquier punto del jamón con un error del 0,3% y del 1,5%, respectivamente (Fulladosa *et al.*, 2010; Santos-Garcés *et al.*, 2010).

Figura 7. Imagen de un jamón fresco y un jamón salado donde se observa la difusión de la sal hacia el interior del producto

Difusión de sal:



Por lo tanto, gracias a lo comentado anteriormente, la TC tiene un importante potencial como herramienta para la optimización de procesos alimentarios, especialmente para el estudio de los procesos de salado en jamón curado, permitiendo evaluar cualitativamente y cuantitativamente la difusión y distribución de sal y agua a lo largo de todo el proceso de elaboración (figura 8).

También se pueden obtener imágenes de la distribución de sal y agua en toda la sección (figura 9), lo cual da una información, además de no destructiva, complementaria y más específica que los tradicionales análisis fisicoquímicos. Al mismo tiempo se puede utilizar para el diseño de nuevos procesos de post-salado. En productos reducidos en sal, es necesario adaptar los procesos tradicionales en función del contenido de sal en las zonas más críticas del producto (figura 9). En este sentido, la TC ha sido utilizada por varias empresas para adaptar las condiciones de procesado en jamones con contenido de sal reducido, asegurando así su estabilidad microbiológica. La extensión de la etapa de post-salado a baja temperatura hasta alcanzar, en la zona interna más crítica, un contenido de sal idéntico al adquirido por el producto con un salado estándar, permite reducir la aparición de defectos en el producto final.

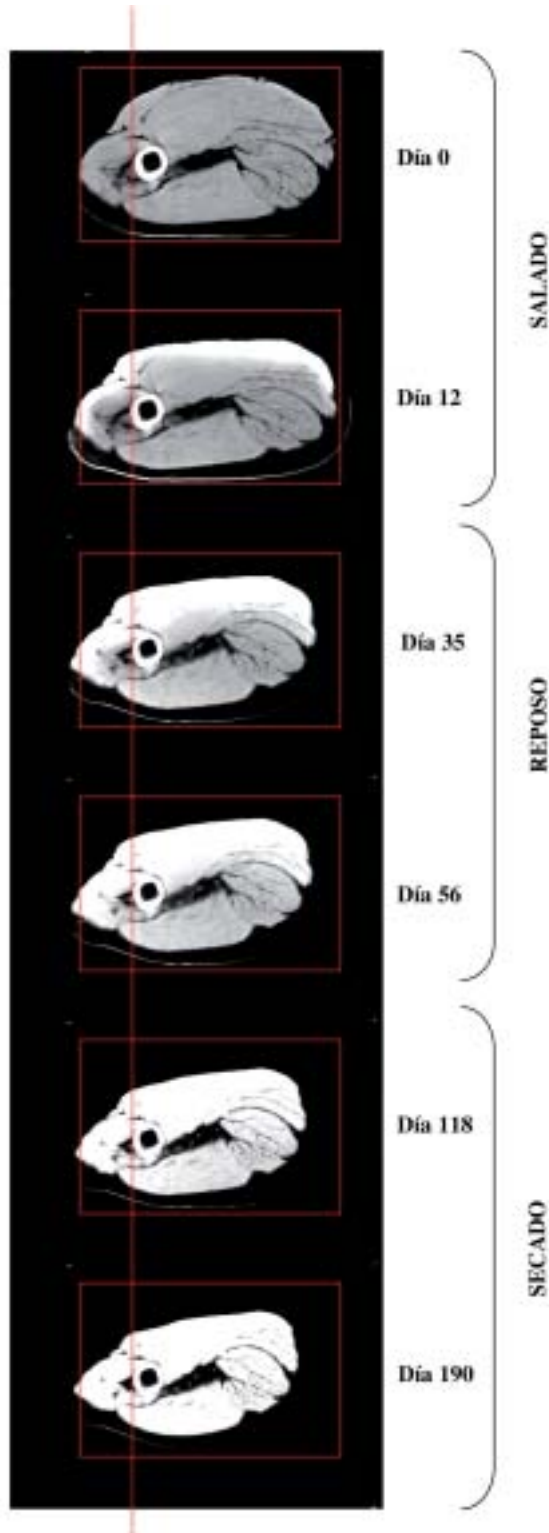
Productos plásticos para la industria cárnica



- Productos fabricados en una sola pieza con plástico de uso alimentario
- Contenedores para el salazón de jamón
- Contenedores isotérmicos homologados IR y IN para distribución
- Depósitos Cutter disponible en 4 colores
- Palets higiénicos para áreas de proceso



Figura 8. Secciones transversales de un mismo jamón curado durante el proceso de salado, reposo y secado adquiridas con tomografía computerizada



Asesoramiento e innovación

Esta tecnología está disponible en el IRTA para todas las empresas interesadas. A partir de la información obtenida, el IRTA ofrece asesoramiento e innovación a la industria alimentaria:

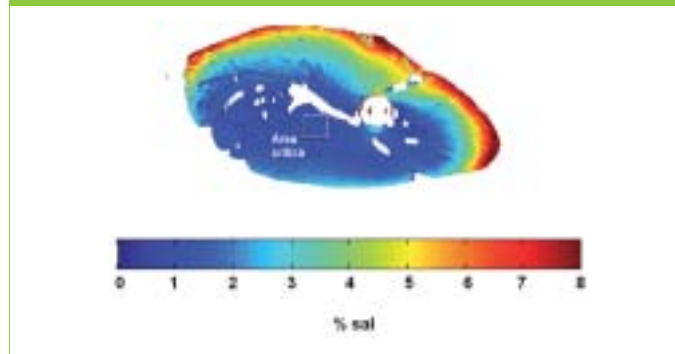
- Mejora de la productividad.
- Mejora de la calidad de productos elaborados.
- Diseño de nuevos procesos.
- Optimización de los procesos de elaboración.
- Estudio de los procesos de congelación/descongelación.
- Estudio de los gradientes de agua en distintos productos.
- Estudio de la formación de anomalías en el interior del producto.
- Estudio de las estructuras y texturas de todo tipo de alimentos, formación de ojos en quesos, etc.
- Estimación de los contenidos de grasa intramuscular y veteado en carne.
- Soporte al diseño de procesos para elaborar productos con un contenido de sal reducido.
- Evaluación y caracterización de canales y de sus piezas: contenido en magro, espesores, áreas, etc.
- Calibración de equipos para la clasificación de porcino.
- Evaluación del efecto de la genética o la dieta en la deposición de los diferentes tejidos a lo largo del crecimiento del animal.

Referencias bibliográficas

- **Barcelon, E. G., Tojo, S., Watanabe, K.** 1997. X-ray CT scanner for detecting internal changes in peach. In *Proceedings of the International Symposium on Agricultural Machinery and Automation*, 227–232. Taipei, Taiwan.
- **Boada, I., Spinola, J., Rodríguez, J., Martínez, R., Font i Furnols, M.**, 2009. II Workshop on the use of computed tomography (CT) in pig carcass classification. Other CT applications: live animals and meat technology, Monells, Spain, 16-17.
- **Brecht, J. K., Shewfelt, R. L., Garner, J. C., Tollner, E. W.** 1991. Using X-ray-computed tomography to non-destructively determine maturity of green tomatoes. *HortScience*, 26, 45–47.
- **Carabús, A., Gispert, M., Rodríguez, P., Brun, A., Francàs, C., Soler, J., Font i Furnols, M.** 2011. Differences in body composition between pigs crossbreds of 30 kg measured in vivo by computed tomography. *Book of Abstracts of the 62nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, 104.

- **Cross, H. R., Whittaker, A. D.**, 1992. *Journal of Animal Science*. 80, 984-989.
- **Dobrowolski, A., Rombári, R., Davenel, A., Marty-Mahe, P., Allen, P.**, 2003. Using PLS on data provided by X-ray CT, MRI and VIA. *EUPIGCLASS Final Workshop*, 6-7 October. Roskilde. Dinamarca.
- **Einen, O., Waagan, B., Thomassen, M. S.** 1998. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmosalar*): I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture*, 166 (1-2), 85-104.
- **Elliot, T. R., Reynolds, W. D., Heck, R. J.** 2010. Use of existing pore models and X-ray computed tomography to predict saturated soil hydraulic conductivity. *Geoderma*, 156 (3), 133-142.
- **Font i Furnols, M., Gispert, M., Batallé, J., Diestre, A.** 2001. Evolución de los sistemas *on-line* de clasificación de canales porcinas. *I Congreso Nacional de la Carne*. Madrid.
- **Font i Furnols, M., Teran, M.F., Picoulet, P., Gispert,**

Figura 9. Imagen de distribución de sal en una sección de jamón curado



- M.** 2008. I Workshop on the use of CT in pig carcass classification. Copenhagen, Dinamarca.
- **Font i Furnols, M., Teran, M.F., Gispert, M.** (2009). Determination of intramuscular fat of the loin with CT. Preliminary results. II Workshop on the use of compu-

Pavimento Industrial UCRETE®

Los pavimentos UCRETE® son una familia de productos únicos, que ofrecen una completa gama de texturas de acabado y propiedades. Estos sistemas disponen de una excepcional resistencia a agentes químicos agresivos, fuertes impactos y choques térmicos.

BASF Construction Chemicals España, SL

Carretera del Mig, 219
08907 Hospitalet de Llobregat (Barcelona)
Tel. 93 261 61 00 • Fax 93 261 61 19
basf-cc@basf-cc.es • www.basf-cc.es

BASF
The Chemical Company

ted tomography (CT) in pig carcass classification. Other CT applications: live animals and meat technology, Monells, Spain, 16-17 abril 2009

- **Fulladosa, E., Santos-Garcés, E., Picouet, P., Gou, P.** 2010. Prediction of salt and water content in dry-cured hams by computed tomography. *Journal of Food Engineering*, 96 (1), 80-85.

La tomografía computerizada tiene un importante potencial

como herramienta para estudiar

los procesos de salado en jamón curado

- **Gispert, M., Font i Furnols, M.** 2003. Métodos on-line no invasores para optimizar el despiece y procesado de las piezas comerciales de porcino. *eurocarne*, 118, 59-63.
- **Gispert, M., Font i Furnols, M., Gil, M., Velarde, A., Diestre, A., Carrion, D., Sosnicky, A.A., Plastow, G.S.** 2007. *Meat Science*. 77, 397-404.
- **Glasbey, C. A., Robinson, C. D.** 2002. Estimators of tissue proportions from X-ray CT images. *Biometrics*, 58, 928-936.
- **Glasbey, C. A., Robinson, C. D.** 1999. Inference from X-ray CT images of sheep. Invitación a la 52a. ISI Session, Helsinki, Finlandia.
- **Johanssen, J., Aastveit, A., Egelandsdal, B., Kvaal, K., Roe, M.** 2007. Calibration models for lamb carcass-composition analysis using Computerized Tomography (CT) imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 87,03-311.
- **Jongbloed, M. R. M., Lamb, H. J., Bax, J. J., Schuijff, J. D., de Roos, A., Van der Wall, E. E., Schalijs, M. J.** 2005. Non invasive visualization of the cardiac venous system using multislicem computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology* 45 (5): 749-753.
- **Jopson, N. B., Kolstad, K., Sehested, E., Vangen, O.** 1995. Computed tomography as an accurate and cost effective alternative to carcass dissection. *Proc. Aust. Assoc. Anim. Breed. Gen.*, 11, 635-639.
- **Judas, M., Höreth, R., Branscheid, W.** 2007. Computed tomography as a method to analyse the tissue composition of pig carcasses. *Fleischwirtschaft international*, 1, 56-69.
- **Kalender, W.A.** 2005. Computed tomography: fundamentals, system technology, image quality, applications (2nd edition, pp. 304). Erlangen, Germany.
- **Kirton, A. H., Purchas, R. W.**, 1996. *Proceeding in the New Zealand Society of animal production*.
- **Kolstad, K.** 2001. Fat deposition and distribution measured by computer tomography in three genetic groups of pigs. *Livestock Production Science*, 67, 281-292.
- **Luiting, P., Kolstad, K., Enting, H., Vangen, O.** 1995. Pig breed comparison for body composition at maintenance: analysis of computerized tomography data by mixture distributions. *Livestock Production Science*, 43, 225-234.
- **Prieto, N., Navajas, E.A., Richardson, R.I., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Simm, G., Roehe, R.** 2010. Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography. *Meat Science*, 86, 770-779.
- **Remignon, H., Seigneurin, F., Desrosiers, V.** 1997. Measurements of in vivo breast meat amount and yield in broilers by using computerised tomography. In *Proceedings of the XIII European Symposium on the Quality of Poultry Meat* (Session M5), 607-612. Polonia.
- **Santos-Garcés, E., Gou, P., Garcia-Gil, N., Arnau, J., Fulladosa, E.** (2010). Non-destructive analysis of aw, salt and water in dry-cured hams during drying process by means of computed tomography. *Journal of food engineering*, 101(2), 187-192.
- **Schmoldt, D. L. Occaña, L. G., Abbot, A. L., Gupta, N. K.** 1999. Non destructive evaluation of hardwood logs: CT scanning, machine vision and data utilization. *Non destructive Testing and Evaluation*, 15, 279-309.
- **Seeran, E.** 2009. *Computed tomography: physical principles, clinical applications, and quality control*. Philadelphia, P.A.: W.B. Saunders Co.
- **Teran, M.F., Gispert, M., Collell, L., Font i Furnols, M** (2009). Prediction of the carcass lean meat percentage: excess entropy image segmentation and reduction of scanning. II Workshop on the use of computed tomography (CT) in pig carcass classification. Other CT applications: live animals and meat technology, Monells, Spain, 16-17 abril 2009.
- **Toldi, G., Molnár, A., Németh, T., Kukovics, S.** 2007. Slaughter value evaluation of large weight Ile de France and Hungarian Merino lambs by CT and traditional slaughter cutting. *EAAP Publication*, 123, 201-204.
- **Tollner, E. W., Hung, Y. C., Upchurch, B. L., Prussia, E. E.** 1992. Relating X-ray absorption to density and water content in apples. *Transactions of the ASAE*, 35, 1921-1928.
- **Walstra, P., Merkus, G. S. M.** 1995. *Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification*. Research Institute for Animal Science and Health (ID-DLO). The Netherlands. ■