

Utilització de la **tomografia computeritzada** com a nova tecnologia per a la indústria del **pernil curat**

RESUM: *El pernil curat és un dels productes carnis més tradicionals del nostre país. Aquest producte té una elevada importància econòmica en el sector de la indústria alimentària —producció i consum. La tomografia computeritzada (TC) presenta un gran potencial com a eina per a l'optimització dels processos d'elaboració del pernil curat. Es tracta d'una tecnologia no destructiva que permet avaluar qualitativament la distribució de la sal durant tot el procés de fabricació.*

PARAULES CLAU: *Tomografia computeritzada, pernil curat, sal, distribució de sal.*

ABSTRACT: *Dry-cured ham is one of the most traditional meat products in our country. This product has an enormous economic importance in the food industry sector —production and consume. Computed tomography (CT) has great potential as a tool for the optimization of dry-cured ham elaboration processes. This is a non-destructive technology that allows evaluating qualitatively the distribution of salt throughout the manufacturing process.*

KEYWORDS: *Computed tomography, dry-cured ham, salt, salt distribution.*

INTRODUCCIÓ

El pernil curat és un producte carni que s'elabora a partir de les extremitats posteriors del porc adult. Tradicionalment, l'elaboració del pernil curat ha constituït una tècnica de conservació d'aquest producte mitjançant els processos de salat, d'assecatge i de repòs. En l'actualitat, es vol aconseguir un producte segur i sense defectes que pugui ser apreciat per les seves característiques sensorials típiques. La sal és un ingredient fonamental en l'elabora-

ció del pernil curat que contribueix a l'obtenció de les propietats característiques del producte final. En els països mediterranis, els pernills normalment se salen per via seca. Existeixen dues metodologies per a aquest tipus de salat: per recobriments en pila de sal o per aplicació d'una quantitat de sal proporcional al pes del pernil (Arnau *et al.*, 2001; Arnau, 2007).

El procés de salat és una de les etapes més importants en l'elaboració del pernil curat, durant la qual la sal es dissol i es difon cap a l'interior del pernil. Per aquesta raó, les

EVA SANTOS-GARCÉS, PERE GOU, NÚRIA GARCÍA-GIL, PIERRE PICOUE I ELENA FULLADOSA
IRTA-Monells. Finca Camps i Armet.
17121 Monells (Girona)

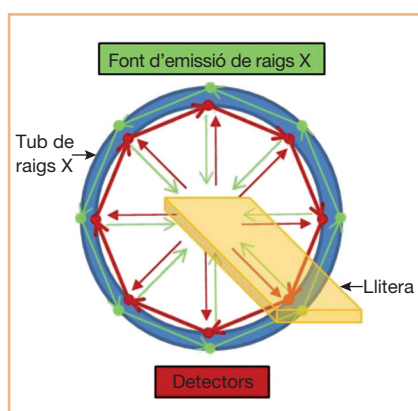


FIGURA 1. Esquema bàsic de funcionament de la TC. Els raigs X emesos per l'equip es representen en verd. Els raigs atenuats emesos per l'objecte es representen en vermell.

empreses productores de pernil curat estan interessades en la implementació de noves tecnologies que permetin optimitzar aquest procés. Una d'aquestes tecnologies és la tomografia computeritzada (TC).

L'any 1972, Godfrey Newbold Hounsfield va desenvolupar el primer escàner que utilitzava raigs X, el qual va ser considerat un dels invents més importants del segle XX —premi Nobel l'any 1979. Aquesta tecnologia ha evolucionat d'una manera sorprenent des dels anys setanta i segueix revolucionant àrees d'investigació tan diverses com la medicina (Hounsfield, 1973), l'arqueologia (Harwood-Nash, 1979), la paleontologia (López-Polín *et al.*, 2008) o la tecnologia alimentària.

Dins de l'àmbit de la tecnologia alimentària, la TC s'ha utilitzat en camps tan importants com ara la indústria dels productes de la pesca —per exemple, en l'estudi de la distribució de greix en el salmó (Rye, 1991)— o en la indústria càrnia. Concretament, dins de la indústria càrnia, la TC s'ha utilitzat en estudis molt diversos, des de la determinació del contingut de magre en la canal porcina (Font i Furnols *et al.*, 2008) fins a l'estimació de la composició corporal d'animals de granja, com ara porcs (Luiting *et al.*, 1995) o xais (Toldi *et al.*, 2007). Diversos autors van estudiar la distribució de sal en el pernil curat mitjançant aquesta tecnologia (Sørheim i Berg, 1987; Frøystein *et al.*, 1989; Vestergaard *et al.*, 2004; Håseth *et al.*, 2007; Håseth *et al.*, 2008).

Aquesta tecnologia consisteix en l'obtenció d'imatges digitals de seccions d'un producte —anomenades *tomogrames*— a partir dels valors d'atenuació obtinguts després d'escanejar aquest producte. El procés de formació d'aquestes imatges mitjançant la TC es divideix en tres fases. En primer lloc, hi ha l'adquisició de dades. En aquesta fase, els raigs X emesos per la TC que ja han travessat l'objecte d'estudi són capturats per uns detectors alineats amb la font d'emissió. En aquesta fase, s'obtenen valors d'atenuació per als 360° de l'objecte, a causa del moviment helicoidal que experimenten la font d'emissió i els detectors (figura 1).

Això genera una gran quantitat d'informació que permet l'obtenció d'imatges d'alta resolució. En segon lloc, hi ha la fase de reconstrucció de les imatges. La reconstrucció de les imatges es basa en la utilització d'algoritmes específics. Aquests algoritmes transformen les dades adquirides en imatges digitals mitjançant els valors d'atenuació recollits pels detectors. Finalment, en tercer lloc, hi ha la visualització de les imatges, és a dir, la seva representació en una pantalla digital.

Els raigs X emesos per la TC perden part de la seva energia en travessar els teixits biològics. Aquesta pèrdua d'energia —o atenuació— depèn de la densitat de cada un dels teixits, la qual cosa permet diferenciar-los (Seeram, 2009). A més, com que la sal — Na^+Cl^- — té una densitat més elevada que els constituents majoritaris de la carn —C, H, O i N—, també apareix en les imatges de la TC amb més contrast. Aquesta atenuació es troba linealment correlacionada amb el contingut de sal de la carn, és a dir, com més alt és el contingut de sal, més gran és l'atenuació dels raigs X. A la figura 2 es presenta una secció d'un pernil adquirida amb TC. Es poden distingir els diferents músculs i es mostren les atenuacions típiques del magre, del greix, de l'os i del magre amb sal —expressades en unitats Hounsfield, UH. El perfil presentat en el tomograma mostra el perfil d'atenuació des del punt 1 fins al punt 2. S'observa que hi ha una disminució del contingut de sal des de l'exterior cap a l'interior del pernil. A la superfície, on hi ha un contingut de sal elevat, s'obtenen valors d'atenuació al voltant de les 200 UH. A l'interior del pernil, on encara no s'hi ha difós la sal, hi ha valors d'atenuació al voltant de les 80 UH.

A més, el principal avantatge de la TC és el fet que es tracta d'una tecnologia no destructiva, que permet l'estudi d'un mateix producte al llarg de tot el procés d'elaboració. És per això que la TC té un important potencial per a l'optimització de processos de fabricació de productes curats.

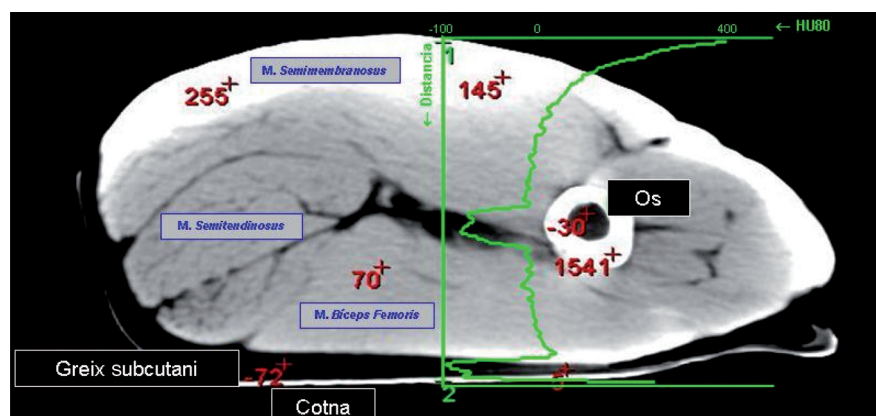


FIGURA 2. Imatge adquirida amb TC a 80 kV d'una secció d'un pernil salat en fase de repòs. Es mostren valors d'atenuació representatius de diverses zones i es presenta el perfil d'atenuació entre dos punts.

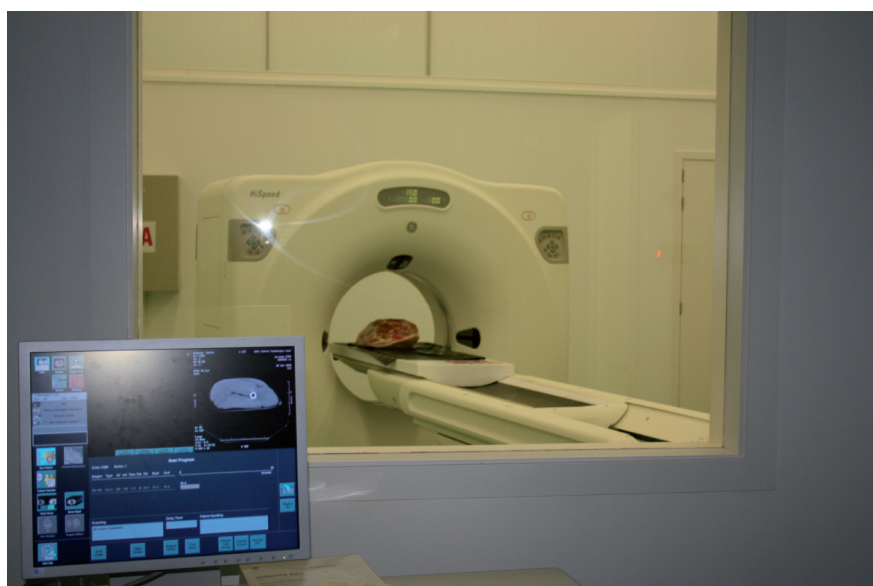


FIGURA 3. Equip de TC General Electric HiSpeed Zx/i situat a l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, IRTA-CENTA, a Monells —Girona.

En aquest estudi es mostra la utilitat de la TC en l'anàlisi qualitativa de la distribució de la sal durant el procés d'elaboració del pernil curat.

METODOLOGIA

Selecció i processament dels pernills

La selecció dels pernills es va dur a terme en un escorxador comercial. A continuació, els pernills es van salar mitjançant un salat tradicional en pila a una temperatura de 2° C i amb una humitat relativa del 85 %. Després del salat, es van rentar amb aigua freda i es mantingueren en fase de repòs —a 2° C— durant quaranta-sis dies. A continuació, els pernills van entrar en la fase d'assecatge fins al final del procés.

Adquisició d'imatges

Les imatges es van adquirir a les instal·lacions d'IRTA-CENTA de Monells —Girona—, amb un equip de TC —General Electric HiSpeed Zx/i— (figura 3). Es van prendre imatges de manera axial —seccions de 10 mm d'espessor— a la zona dels pernills amb un major gruix— 10 cm per sobre de la ròtula. Els pernills es van escanejar abans de començar el salat —dia zero— i, posteriorment, al llarg de tot el procés d'elaboració

—dotze dies de salat; vint-i-tres i quaranta-cinc dies de repòs, i dos i cinc mesos d'assecatge.

AVALUACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SAL DEL PERNIL CURAT

En els tomogrames de pernil curat de la figura 4, les estructures que tenen una densitat elevada apareixen en color blanc —com, per exemple, l'os—; els músculs —teixits tous—, amb una densitat mitjana, es representen en color gris, i les zones de baixa densitat —com ara el greix o l'aire— apareixen en negre. Els tomogrames il·lustren d'una manera qualitativa la distribució de sal en un pernil durant les fases de salat, de repòs i d'assecatge. Durant el salat, s'observa clarament una franja blanca, d'elevada densitat, a la zona més externa del pernil. Aquesta franja representa l'entrada de sal a través de la superfície del pernil, concretament a la zona del múscul *Semimembranosus*. La cotna i el greix subcutani actuen com a barrera per a l'entrada de la sal. Al llarg del procés d'elaboració, la sal es va distribuint cap a l'interior del pernil, i alhora disminueix el contingut d'aigua. Aquests fenòmens provoquen un augment de l'atenuació



FIGURA 4. Seccions transversals d'un mateix pernil durant les fases de salat, de repòs i d'assecatge adquirides amb TC.

—contrast— a tota l'àrea del tomograma. A més, s'observa un canvi de forma del pernil al llarg del procés d'elaboració. Aquest canvi està causat per dos factors: el procés de salat

—peça més aplanada— i la retracció del pernil a causa de la pèrdua d'aigua.

Per poder analitzar d'una manera quantitativa la distribució i la difusió de la sal i de l'aigua, s'està duent a terme un calibratge de l'equip de TC. L'objectiu és poder analitzar aquests paràmetres en diferents tipus de matèria primera —pernills frescos, magres o grassos i/o pernills que han estat congelats i descongelats abans del procés de salat— en diferents moments durant el procés d'elaboració. D'aquesta manera, la TC es convertiria en un mètode no destructiu que permetria predir el contingut de sal i d'aigua en el pernil curat d'una manera no invasiva a partir dels tomogrames obtinguts.

Aquesta tecnologia també és útil per a l'optimització de les etapes de salat, de repòs i d'assecatge durant la producció del pernil curat, la qual cosa és fonamental per obtenir un contingut de sal òptim. Això permetrà una bona conservació i seguretat per al producte, tot evitant un excés de sal o l'aparició de textures pastoses causades per una insuficient quantitat o distribució de sal. A més, la TC pot ajudar a tractar objectivament alguns punts crítics del procés de producció. Per exemple, la definició del temps de salat en funció de la qualitat i dels tractaments previs aplicats a la matèria primera utilitzada. També pot ajudar a la determinació del moment en què es poden sotmetre els pernills a temperatures més elevades i evitar, així, defectes de textura causats per una proteòlisi excessiva. Finalment, pot ajudar a la definició de les condicions ambientals —temperatura i humitat relativa— òptimes per

a la producció de pernills evitant, per exemple, problemes d'encrostat a la superfície. L'optimització de les etapes esmentades també pot reduir la incidència de defectes en el producte final. Aquest fet pot suposar un benefici econòmic important per a les empreses productores de pernil curat.

REFERÈNCIES

- ARNAU, J. (2007). «Factores que afectan a la salazón del jamón curado». *EURO-CARNE*, 160: 1-15.
- ; GUERRERO, L.; GOU, P.; MONFORT, J. M. (2001). «Tecnología, microbiología y principales problemas tecnológicos del jamón curado». A: MARTÍN BEJARANO, S. [ed.]. *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*. Vol. II. Càceres: Martín & Macías, p. 1177-1204.
- FONT I FURNOLS, M.; TERAN, F.; PIQUET, P.; GISPERT, M. (2008). «La tomografía computerizada como herramienta para la determinación de la composición de la canal». *EUROCARNE*, 166: 1-8.
- FRØYSTEIN, T.; SØRHEIM, O.; BERG, S. A.; DALEN, K. (1989). «Salt distribution in cured hams, studied by computer X-ray tomography». *Fleischwirth*, 69 (2): 220-222.
- HARWOOD-NASH, D. C. F. (1979). «Computed tomography of ancient Egyptian mummies». *Journal of Computer Assisted Tomography*, 3: 769-773.
- HÅSETH, T. T.; EGELANDSDAL, B.; BJERKE, F.; SØRHEIM, O. (2007). «Computed tomography for quantitative determination of sodium chloride in ground pork and dry-cured hams». *Journal of Food Science*, 72 (8): 420-427.
- HÅSETH, T.; HØY, M.; KONGSRO, J.; KOHLER, A.; SØRHEIM, O.; EGELANDSDAL, B. (2008). «Determination of sodium chloride in

pork meat by computed tomography at different voltages». *Journal of Food Science*, 73 (7): 333-339.

- HOUNSFIELD, G. N. (1973). «Computerised transverse axial scanning (tomography). I: Description of system». *British Journal of Radiology*, 46: 1016-1022.
- LÓPEZ-POLÍN, L.; CÁCERES, I.; CARBONELL, E.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M. (2008). «Pleistocene human remains and conservation treatments: The case of a mandible from Atapuerca (Spain)». *Journal of Human Evolution*, 54: 539-545.
- 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 (3): 225-234.
- RYE, M. (1991). «Prediction of carcass composition in Atlantic salmon by computerized tomography». *Aquaculture*, 99 (1-2): 35-4948.
- SEERAM, E. (2009). *Computed tomography: Physical principles, clinical applications and quality control*. 3a ed. Filadèlfia: W. B. Saunders Co.
- SØRHEIM, O.; BERG, S. A. (1987). «Computed X-ray tomography (CT) as a non-destructive method to study salt distribution in meat». A: *Rapid analysis in food processing and food control*. Oslo: Loen, p. 87.
- TOLDI, G.; MOLNÁR, A.; NÉMETH, T.; KUKOVICS, S. (2007). «Slaughter value evaluation of large weight Île de France and Hungarian Merino lambs by CT and traditional slaughter cutting». A: *Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep*. Roma: EAAP Publications, p. 123, 201-204.
- VESTERGAARD, C.; RISUM, J.; ADLER-NISSEN, J. (2004). «Quantification of salt concentrations in cured pork by computed tomography». *Meat Science*, 68 (1): 107-113.

