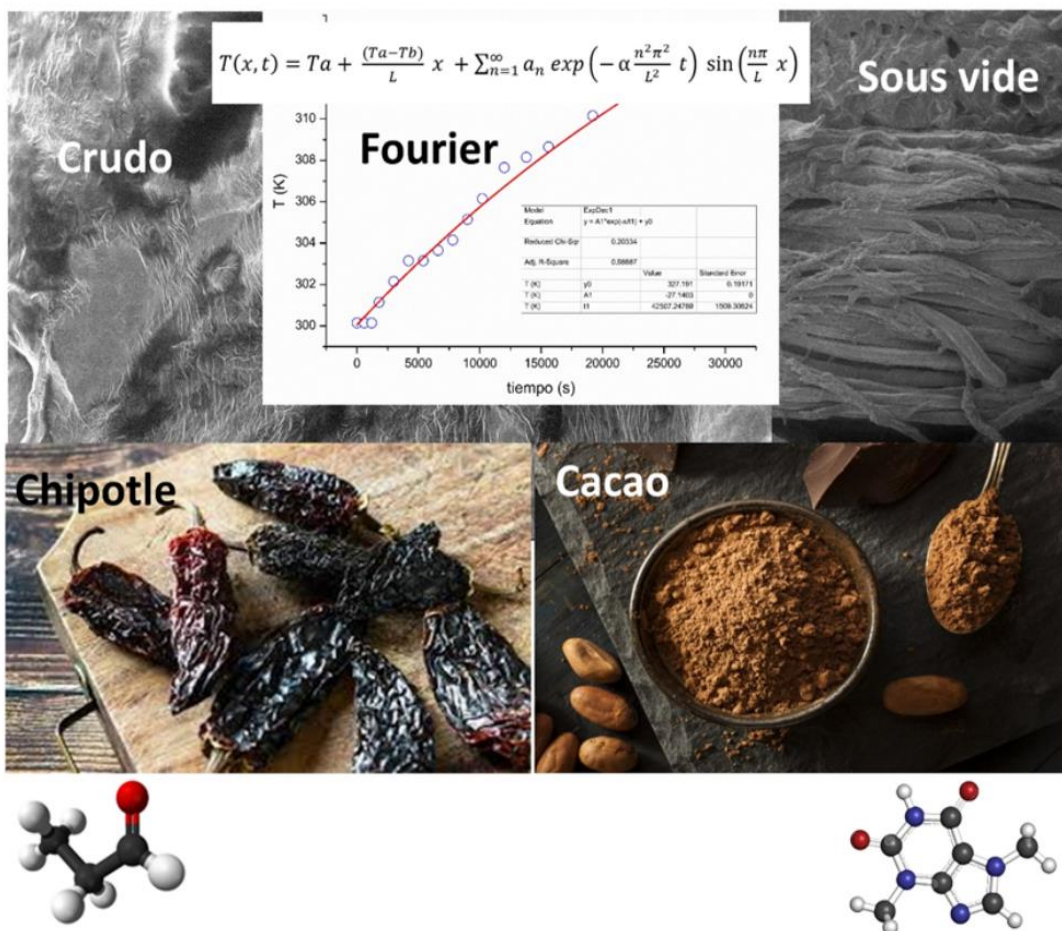


CIENCIA EN LA COCINA: LA FÍSICA Y QUÍMICA DE UNA PREPARACIÓN DE CARNE Y SU SALSA



Autor: Pablo Rial Garijo
Curso 2023-2024
Tutora: Paz Rosado



**Comunidad
de Madrid**



Unión Europea

CIENCIA EN LA COCINA

LA FÍSICA Y LA QUÍMICA DE UNA PREPARACIÓN DE CARNE Y SU SALSA

**Este trabajo ha sido realizado en el programa de Bachillerato
de Excelencia del IES Arquitecto Ventura Rodríguez**

Boadilla del Monte (Madrid), diciembre de 2023



Ciencia en la Cocina: La Física y la Química de una preparación de carne y su salsa ©

2023 by Pablo Rial Garijo is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Marco teórico.....	11
1.1.1 Cocinado de la carne: finalidad y procesos fisicoquímicos que tienen lugar. Técnicas de cocinado.	11
1.1.2 Técnicas de cocinado de la carne.....	12
1.1.3 Características estructurales de la carne de cerdo (composición, infiltración de grasa, textura, etc).....	13
1.1.4 Fundamento químico de la compatibilidad y complementariedad de los ingredientes.....	13
1.2 HIPÓTESIS Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.3 OBJETIVOS	14
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	15
2.1 Transferencia de calor en la carne de cerdo.	15
2.2 Diferentes métodos de cocinado: plancha y baja temperatura “ <i>sous vide</i> ”	18
2.3 Estudio de la textura de la carne de cerdo por SEM.....	19
2.4 Medida del pH de la carne de cerdo cruda y cocinada.....	20
2.5 Elaboración de las salsas para la carne cocida a baja temperatura.....	21
3. RESULTADOS	21
3.1 Transferencia de calor a través de la carne de cerdo.....	21
3.2 Diferentes métodos de preparación.....	22
3.2.1 Preparaciones a la plancha.	22
3.2.2 Preparaciones a baja temperatura.	23
3.2.3 Pérdida de masa en ambos métodos de preparación.....	23
3.3 Textura a escala microscópica de la carne.....	24
3.4 Variación del pH de la carne con el cocinado.....	26
4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	26
4.1 Métodos de preparación	26
4.2 Transferencia de calor en la carne de cerdo ibérico	27
4.3 La textura a escala microscópica.....	28
4.4 El pH de la carne con el cocinado	28
5. CONCLUSIONES.....	29
5.1 Sobre la transferencia de calor en la carne de cerdo ibérico	29
5.2 Sobre los métodos de preparación	29
5.3 Sobre la textura a escala microscópica	29
5.4 Sobre el pH de la carne con el cocinado	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

TABLA DE ACRÓNIMOS

IES	Instituto de Educación Secundaria
FAD	Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos)
CRA	Capacidad de Retención de Agua
SEM	Scanning Electron Microscopy, (Microscopía Electrónica de Barrido)
LVD	Low Vacuum Detector, (Detector de Bajo Vacío)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de un experimento de transferencia de calor en una dimensión.

Figura 2: Montaje de la pieza de lomo de cerdo para experimento de transferencia de calor y aplicación de la ecuación de Fourier.

Figura 3: Detalles del cocinado a la plancha.

Figura 4: Detalles de la cocción a baja temperatura “sous vide”

Figura 5: Datos experimentales T vs t y ajuste a la ecuación de Fourier.

Figura 6: Cocinado en plancha.

Figura 7: Costra carbonizada.

Figura 8: Diferentes aspectos de la cocción a baja temperatura: (a) temperatura del interior de la pieza de carne, (b) aspecto externo de la carne, (c) aspecto interno.

Figura 9: Aspecto del interior de una pieza de cerdo cocinada a baja temperatura (izquierda) y a la plancha (derecha).

Figura 10: (a) Aspecto general de la carne de cerdo cruda a 400 aumentos; (b) imagen tomada a 10.000 aumentos y (c) imagen a 10.000 aumentos de los puntos de anclaje de las microfibrillas en la matriz que forma las fibras musculares.

Figura 11: (a) Costra formada en la plancha; (b) imagen del interior de la pieza tomada a 50 aumentos y (c) imagen la superficie de una fibra a 800 aumentos.

Figura 12: Imágenes de tres cortes en direcciones perpendiculares del interior de una pieza de carne cocinada a baja temperatura (“sous vide”) a 50 aumentos.

Figura 13: pH en función de la temperatura de cocción “sous vide”

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Pérdidas de peso en el proceso de cocinado.

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar, quería agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado durante la realización de este proyecto de investigación.

En primer lugar, me gustaría agradecer al IES Arquitecto Ventura Rodríguez, por ofrecer la oportunidad de realizar esta clase de proyectos que, sin duda alguna, son una experiencia increíble y una gran fuente de aprendizaje para el alumnado, muchas gracias.

Me gustaría dar las gracias a la Fundación Universitaria San Pablo CEU, por permitirme realizar experimentos con su material de laboratorio, que tan importante ha sido para realizar este trabajo, muchas gracias, Lautaro.

Agradecer a mi tutora Paz, por guiarme y asesorarme siempre que necesitaba algo de ayuda, por realizar las correcciones necesarias y por aguantar los problemas que nos dio la estructura, muchas gracias.

Finalmente agradecer a mis tíos, por inspirarme y por ayudarme tanto, por estar siempre a mi lado y por confiar en mí aun cuando lo ponía complicado. También agradecer a mis padres y hermanos, por escuchar mis tertulias siempre que me ponía pesado hablando sobre el progreso, así que una última vez, muchas gracias.

RESUMEN

Los diferentes procesos y reacciones fisicoquímicas que ocurren en los alimentos durante el cocinado son desconocidas por la mayoría. En este trabajo se plantea el diseño de un plato de carne de cerdo ibérico y su salsa. Se aplican criterios científicos para elegir el método de preparación y la composición de la salsa.

En este trabajo se demuestra que la preparación a baja temperatura “*sous vide*” produce una carne con mejor textura, que experimenta menor pérdida de jugos y que conserva en gran medida la estructura de las fibras musculares de la carne cruda. Se demuestra que la baja conducción de calor de la carne de cerdo ibérico está en el origen de las dificultades para preparar a la plancha (o al horno) piezas de carne de características texturales comparables a las obtenidas a baja temperatura. Además, para evitar cualquier riesgo asociado a la carne cruda, utilizando la plancha (o el horno), resulta inevitable cocinar en exceso la superficie de las piezas, con los riesgos que ello conlleva.

Por último, se han aplicado criterios de compatibilidad y complementariedad química con el objetivo de diseñar diferentes salsas para la carne. Todas ellas con dos ingredientes básicos, que pretenden homenajear el mole poblano mejicano, esto es: cacao (para “españolizar” la receta) o harina de algarroba y chile chipotle.

El conocimiento de la Física y Química que hay detrás de la cocina permite crear platos y recetas con propiedades organolépticas superiores.

ABSTRACT

The different physicochemical processes and reactions that occur in food during cooking are unknown to most people. In this work, the design of a dish of Iberian pork and its sauce is proposed. Scientific criteria are applied to choose the method of preparation and the composition of the sauce.

In this work, it is demonstrated that the low temperature preparation “*sous vide*” results in a meat with better texture, which experiences a lower loss of juices, and which largely preserves the structure of the muscle fibers of the raw meat. It is shown that the low heat conduction of Iberian pork meat is at the origin of the difficulties in preparing grilled (or baked) pieces of meat with textural characteristics comparable to those obtained at low temperature. Furthermore, to avoid any risk associated with raw meat, using the griddle (or oven), it is inevitable to overcook the surface of the pieces (if they are not very thin), with the risks that this entails.

Chemical compatibility and complementarity criteria have been applied to design different sauces. All of them have two basic ingredients, which are intended to resemble the Mexican mole poblano: cocoa or (to Spanish the recipe) carob flour and chipotle pepper.

The knowledge of the physics and chemistry behind cooking allows the creation of dishes and recipes with superior organoleptic properties.

1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Marco teórico

Cocinar alimentos suele asociarse, generalmente, con preparar diferentes alimentos sometiéndolos a la acción del fuego. En un sentido más amplio existen métodos de “cocinado” en los que no interviene el fuego (o solo indirectamente), como son los marinados y escabeches, salazones, ahumados, deshidratación o curado, y otros. Pero el uso de fuego (calor en general) predomina en los métodos de cocinado. Las ventajas y beneficios de la preparación térmica de alimentos van más allá de la mejora de la palatabilidad y la textura de los mismos.

1. La más evidente se produce por un aumento de la higiene y salubridad en los alimentos cocinados. Al ser sometidos a un tratamiento térmico suficiente, prácticamente todas las bacterias, microbios y agentes patógenos se eliminan o pasan a ser inofensivos ya que no aguantan este tratamiento. (1)

2. Cocinar los alimentos facilita mucho su digestión y aumenta el aporte de nutrientes asimilables por el ser humano. El cocinado de los alimentos provoca la descomposición de la celulosa, favoreciendo la absorción y digestibilidad; el cambio de la estructura de las proteínas o los almidones, que los vuelven más digestibles por las enzimas y la desnaturalización de toxinas y sustancias no digeribles. Todo esto produce un ahorro de energía al facilitar la digestión de los alimentos. (1,2) En cierto modo, cocinar es “predigerir” los alimentos fuera del cuerpo.

3. Otra ventaja que aporta el cocinado es la mejora en la textura de los alimentos. En el caso de la carne, a una temperatura de entre 60 y 70°C, las fibras de colágeno que contienen los músculos comienzan a desnaturalizarse y gelatinizarse, volviendo la carne un producto mucho más tierno y apetecible. (2) Una carne más blanda requeriría menos tiempo de masticación y por lo tanto, un ahorro de energía y tiempo notable que permitiría el desarrollo de otras actividades.

Además, durante el cocinado ocurren reacciones como la de Maillard, que aumenta la palatabilidad de los alimentos, volviéndolos más agradables de comer.

1.1.1 Cocinado de la carne: finalidad y procesos fisicoquímicos que tienen lugar. Técnicas de cocinado.

La carne es uno de los alimentos principales de la dieta occidental. Sin duda, este alimento es imprescindible para llevar una vida saludable y, según diversos estudios (2), su papel en nuestra dieta no sería tan relevante si la comiésemos cruda. La carne está compuesta de un

tejido muscular formado por diferentes fibras constituidas por proteínas, como la actina y la miosina, que se enrollan dando lugar a una estructura muy dura y tenaz. Estas fibras musculares están unidas entre sí con colágeno. El objetivo del cocinado de la carne es la obtención de un producto más blando y accesible para nuestro organismo y con una mejor palatabilidad.

La carne cruda, además, contine una gran variedad de microorganismos y agentes patógenos que pueden suponer un gran riesgo para nuestra salud, por lo que la cocina es un buen método para eliminarlos por completo.

Ambos aspectos: mejora de la digestibilidad/palatabilidad y seguridad alimentaria, se consiguen si todo el volumen de la carne, incluido el interior de la pieza, se somete a una temperatura suficiente durante un tiempo suficiente. La temperatura mínima que asegura la desnaturalización parcial de las proteínas y el colágeno es de 70°C; según recomendación de la FAD, la salubridad de la carne se asegura manteniendo durante al menos tres minutos esta temperatura en el interior de la pieza cocinada. (3)

Además, al cocinar la carne se produce la reacción de Maillard, que consiste en la condensación de aminoácidos y reducción de azúcares al aplicar un calentamiento enérgico. (4) Se producen sustancias que aportan una textura, aroma y palatabilidad completamente diferentes a las originales.

No obstante, no todo lo que sucede al aplicar una fuente de calor intenso es positivo. Se pueden producir reacciones adicionales originando nuevas sustancias. Algunas de ellas son potencialmente perjudiciales, como la acrilamida, que es metabolizada en el organismo formando la glicidamida, componente del humo del tabaco y cancerígena. (5)

1.1.2 Técnicas de cocinado de la carne

Existen varios métodos y técnicas para “cocinar” la carne, pero este trabajo se centra en dos de ellos, la plancha y la cocción a baja temperatura y al vacío, ya que son los más empleados en la cocina actual.

Plancha. El cocinado a la plancha es sin duda uno de los más populares para la carne. Este tipo de cocinado consiste en la aplicación de un calor muy elevado proveniente de una plancha por uno de los lados de la pieza a cocinar. La temperatura elevada facilita la reacción de Maillard y los cambios mencionados. La pérdida de peso de la carne empleando esta técnica es muy elevada, pues debido a las altas temperaturas, el agua y la grasa se evaporan, lo que provoca que la carne pueda adquirir una textura no apetecible.

Cocción a baja temperatura. Al utilizar menores temperaturas de cocción se requiere un mayor tiempo de preparación, que puede incluso llegar a alcanzar varias horas. Los alimentos son envasados al vacío en una bolsa hermética y la cocción se realiza en un

recipiente con un control preciso de la temperatura del agua, para garantizar el cocinado uniforme. Otro factor positivo de este tipo de cocinado es la poca pérdida de humedad y grasa al estar envasada la carne en una bolsa hermética. Sin embargo, las bajas temperaturas empleadas impiden la reacción de Maillard, y la textura de la carne será idéntica en toda la pieza, pudiendo resultar su consumo monótono.

1.1.3 Características estructurales de la carne de cerdo (composición, infiltración de grasa, textura, etc)

Se ha elegido trabajar con la carne de cerdo ibérico para realizar todos los experimentos del proyecto. Para poder entender el efecto del cocinado sobre la carne, tenemos que conocer la textura de ésta en crudo. Al igual que todas las carnes, la de cerdo ibérico está compuesta por músculos. Dentro de los músculos encontramos dos proteínas: la actina y la miosina. Estas se organizan para formar unos filamentos microscópicos llamados miofilamentos, que constituyen las miofibrillas. La agrupación de estas da lugar a las fibras musculares que se unen entre sí gracias al tejido endomisio, formando una estructura que se envuelve por el tejido perimisio y forma los fascículos musculares. Estos fascículos son los haces que componen los músculos y la unión de varios da lugar a uno de ellos. El peso de los músculos es mayoritariamente agua, estimando que está entre el 65 y el 80% del total. El agua se aloja en el espacio existente entre la unión de los miofilamentos gracias a la capilaridad, pudiendo variar ese espacio en función de los valores de pH de la carne. Los valores de pH normales en la carne suelen ser de 5-5.5, valores a los que se anulan las fuerzas de repulsión entre las proteínas que forman la carne y, por tanto, existe un espacio mínimo entre los miofilamentos de las miofibrillas y la carne tiene poca CRA. Al reducir o aumentar los valores de pH, se generará una carga positiva o negativa entre las proteínas, lo que aumentará la distancia entre los miofilamentos y dará lugar a una mayor CRA. (6)

También existen otras características estructurales de la carne que son de vital importancia a la hora de cocinar. Entre ellas encontramos la infiltración de grasa, y es que la carne de cerdo es bastante magra, conteniendo alrededor de un 7.6% de grasa, que está compuesta principalmente por lípidos neutros y lípidos polares. Dentro de los lípidos neutros encontramos pequeñas cantidades de colesterol, así como vitaminas liposolubles y pequeñas cantidades de hidrocarburos.

1.1.4 Fundamento químico de la compatibilidad y complementariedad de los ingredientes.

Desde 1969, se ha ido desarrollando una rama de conocimiento que busca las bases moleculares de la compatibilidad de los ingredientes de un plato, denominada “armonía molecular de los alimentos”. (7) La mayor parte del “sabor” de una comida, realmente las sensaciones experimentadas, provienen de los aromas que aportan las sustancias volátiles

que contiene. Al contrario que las texturas, tanto los aromas como los cinco sabores (dulce, salado, amargo, ácido y umami) están asociados a moléculas concretas o familias de moléculas similares. Sin embargo, la cantidad de aromas que es capaz de diferenciar el ser humano es mucho mayor que cinco (8,9). Familias de moléculas similares presentan aromas similares y el sistema olfativo humano es capaz de reconocerlas provocando sensaciones análogas. (10)

Según Chartier, (7) existen dos grandes familias de saborizantes: los aromas anisados (manzana verde, apio, hinojo, cebolla, cebolleta, calabacín, anís, cordero, tomillo, romero) y los relacionados con el sotolon (aldehídos y lactonas) (chocolate, tabaco, ahumado, cerveza negra, café, coñac y licores añejos criados en madera, oporto, setas, fenogreco, etc.)

También se pueden combinar ingredientes con la idea de complementariedad de aromas: en una receta (salsa en nuestro caso) donde predomina una familia de aromas, se pueden introducir ingredientes que contienen aromas de otra familia, introduciendo nuevos matices. Esta aproximación es más arriesgada que utilizar componentes con aromas similares.

1.2 HIPÓTESIS Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Hasta que punto los nuevos métodos de cocina basados en la ciencia suponen un avance significativo a la hora de realizar elaboraciones culinarias?

La hipótesis general de este trabajo es que la aplicación de conocimientos, métodos y planteamientos científicos a la preparación de los alimentos permite diseñar preparaciones culinarias con características higiénicas, texturales, organolépticas y nutricionales superiores. Para encontrar la respuesta, se experimentará con una elaboración de carne de lomo de cerdo ibérico y su salsa realizada a partir de los conocimientos científicos actuales acerca de los diferentes tipos de cocinado y la idea de complementariedad de moléculas aromáticas en los alimentos.

1.3 OBJETIVOS

Comparación de los resultados de dos tipos de cocinado de carne de cerdo: a la plancha y a baja temperatura “*sous vide*”

Como se ha mencionado anteriormente, se emplearán piezas de carne de lomo de cerdo ibérico y de tamaño adecuado para los experimentos a realizar. Lo que se pretende, es hacer una comparación precisa entre dos técnicas de cocinado, una tradicional, conocida por todos y empleada habitualmente, como es la plancha y una más moderna, novedosa y poco habitual en el cocinado doméstico, como es la cocción “*sous vide*”, a fin de responder a la pregunta planteada para el desarrollo del trabajo.

Además, se van a “diseñar” un número de salsas basadas en los conceptos de armonía y complementariedad de aromas. Todas ellas tendrán una base sotolon aportada por dos ingredientes que se mantiene en todas: cacao (chocolate negro de 70% mínimo) o harina de algarroba en uno de los casos, y chile chipotle ahumado que aporta un toque picante. Se va a explorar el efecto de combinar estos últimos con otros ingredientes de la familia (cerveza negra, semillas tostadas de fenogreco, vino de oporto, etc.) o complementando (cebolla, hinojo, etc.).

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación, se presentan los métodos y técnicas empleadas en este estudio. Una descripción más detallada de las técnicas, métodos y experimentos realizados en el trabajo se encuentra recogida en la página web: www.cienciaenlacocina.co

2.1 Transferencia de calor en la carne de cerdo.

La capacidad de transferencia de calor de la carne determina el resultado final de la preparación dependiendo del método de cocina empleado. Se ha realizado un experimento para obtener el coeficiente de transferencia de calor en el interior de la carne de cerdo aplicando la ley de Fourier y usando algunos parámetros conocidos de la carne. Es relevante este experimento porque, justamente, en las limitaciones para la transferencia de calor de la carne, se encuentra la gran diferencia en los resultados cuando se utiliza la cocción a baja temperatura con respecto al uso de la plancha.

En principio, la ley de Fourier estudia la conducción del calor a lo largo de una barra metálica estableciendo temperaturas fijas en sus extremos. (11) Se puede extender su aplicación a otros tipos de sustancias sólidas, y uno de los objetivos de este experimento es comprobar su aplicabilidad a algo tan diferente de un metal como es una pieza de carne.

La conducción del calor se establece siempre que exista un gradiente o diferencia de temperaturas entre dos puntos de una barra metálica (en nuestro caso una pieza de lomo de cerdo).

Así, la ley de Fourier sería:

$$\partial T / \partial t = \alpha \partial^2 T / \partial x^2 \quad \text{con} \quad \alpha = K / (\rho c) \quad \text{Ecuación [1]}$$

En la Figura 1 se muestra un croquis de un sistema para el estudio de la aplicación de la ley de Fourier.

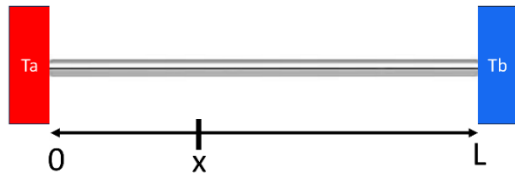


Figura 1: Esquema de un experimento de transferencia de calor en una dimensión

La barra metálica tiene una longitud L , y se encuentra conectada a los extremos a dos focos de calor a temperatura T_a y T_b ,

siendo x un punto cualquiera de la barra donde se puede calcular la temperatura en cualquier momento.

Para un tiempo suficientemente largo (teóricamente infinito, esto es, en el **estado estacionario** que no varía con el tiempo) la temperatura en cualquier punto de la barra varía linealmente con la distancia al origen de la barra.

$$T_x (\text{estacionario}) = T_a + \frac{(T_b - T_a)}{L} x \quad \text{Ecuación [2]}$$

La temperatura de la barra en el régimen transitorio viene dada:

$$T(x, t) = T_a + \frac{(T_b - T_a)}{L} x + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp\left(-\alpha \frac{n^2 \pi^2}{L^2} t\right) \sin\left(\frac{n\pi}{L} x\right)$$

Con los coeficientes a_n :

$$\begin{aligned} \frac{2}{n\pi} (2T_0 - T_a - T_b) & \quad n \text{ impar} \\ \frac{2}{n\pi} (T_b - T_a) & \quad n \text{ par} \end{aligned} \quad \text{Ecuación [3]}$$

donde T_0 es la temperatura inicial de la barra (en nuestro caso de la pieza de cerdo) y el resto de los parámetros tienen un significado que ya se explicó.

Para realizar el experimento en unas condiciones lo más parecidas a las que aseguran la aplicabilidad de la ley de Fourier, esto es, conducción térmica monodimensional y sin cambio de materia, se tomaron ciertas medidas.

En primer lugar, como se muestra en la Fig. 2, la pieza de lomo se embutió dentro de un recipiente aislante térmico de poliespán Fig. 2(a). Para evitar una pérdida importante de agua (tanto al ambiente como de la parte del lomo en contacto directo con el baño termostatzado que actúa de foco caliente) la pieza se envasó a vacío.

Como foco caliente se utilizó agua a 70°C proporcionada por el baño que se usa para la cocción a baja temperatura (Fig. 2(b)); la pieza de carne se fija con unos palillos de madera, a una altura tal que un extremo esté en contacto con el agua y sumergida no más de medio centímetro. Para tener una temperatura homogénea en el baño, en la parte baja del recipiente de poliespán se hicieron unas ranuras de tamaño suficiente (ampliación en la Fig. 2(b)).

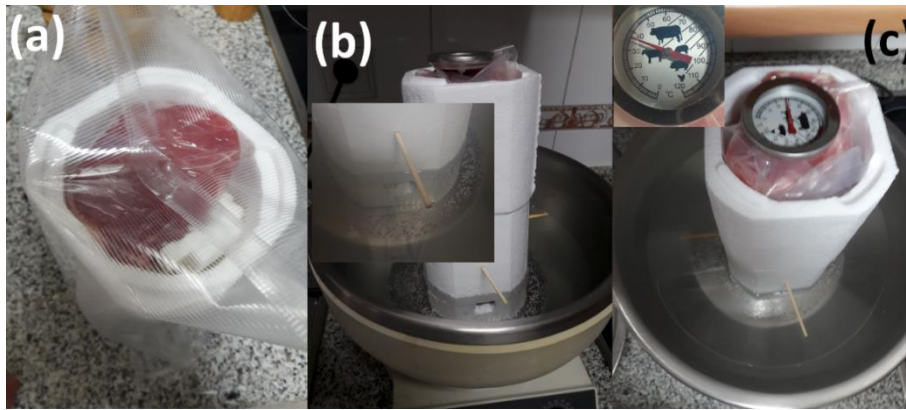


Figura 2: Montaje de la pieza de lomo de cerdo para experimento de transferencia de calor y aplicación de la ecuación de Fourier.

El extremo superior de la pieza de lomo está expuesto a temperatura ambiente (que en el momento de experimento era de 27 °C); en este extremo se pinchó un termómetro de cocina (Fig. 2(c)) de longitud 11 cm. Este termómetro previamente se calibró con el termopar utilizado en todos los experimentos descritos en esta memoria y con un termómetro de laboratorio. La precisión del termómetro de cocina es superior a $\pm 1^\circ\text{C}$. Las medias de temperatura en función del tiempo, utilizadas para construir la gráfica de Fourier, se recogieron con este termómetro, ya que es fácil introducirlo en la carne y asegura suficiente precisión. Por último, hay que indicar que la pieza de lomo midió 24 cm y se dejó atemperar a temperatura ambiente antes de iniciar el experimento.

Se midió la temperatura en el montaje mostrado en la Figura 2(c), hasta 500 minutos, a intervalos variables entre 10 y 30 min. Se recogieron unos 20 puntos (T_x) vs tiempo (t). El agua del baño que se evaporaba se fue reponiendo con agua caliente para no alterar la temperatura del foco caliente del experimento. La variación de la temperatura ambiente fue mínima, manteniéndose entre (27-28) °C.

Los datos experimentales se representaron gráficamente y se ajustaron por mínimo cuadrados a una función suma de n contribuciones, como se representa en la Ec. [4]. Para ello se utilizó el software OriginPro 8.5.0 de OriginLab Corporation.

$$Tx(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \exp(-t/\lambda_n)) \quad \text{Ecuación [4]}$$

Donde T_x es la temperatura en el punto en estudio, t es el tiempo (variable independiente), A_0 es un término independiente, A_n y λ_n son el coeficiente y un parámetro de cada término exponencial. El significado de A_0 , A_n y λ_n se obtiene comparando las Ec. [4] y Ec. [3].

Así,

$A_0 = T_a + \frac{(T_a - T_b)}{L} x$ (con las condiciones del experimento: $x=11$ y $L=44$), que es la temperatura en estado estacionario para $x= 11$ cm.

$A_n = a_n \sin\left(\frac{n\pi}{L} x\right)$; con ($x=11$ y $L=44$) se calculan los valores correspondientes

Ecuación [5]

Finalmente, $\lambda_n = 1 / \left(\alpha \frac{n^2 \pi^2}{L^2} \right)$.

Lo que interesa determinar es α (que es igual a $K/(\rho c)$) que contiene información sobre el comportamiento térmico de la carne de cerdo.

En el proceso de ajuste (Ec. [4]) el valor de A_0 se conoce y puede mantenerse constante, aunque es un parámetro libre. Sucede lo mismo para los parámetros A_n de manera que los únicos parámetros libres del ajuste son los valores de λ_n . Una vez obtenido el mejor ajuste se obtienen n valores de α que deberían situarse dentro del error experimental.

Un asunto importante es determinar cuántos términos exponenciales de la ecuación [4] son necesarios, o sea, hasta qué valor de n hay que considerar. Se han realizado ajustes para valores crecientes de n (1, 2, 3) y se ha considerado el valor de n más pequeño que asegura que una contribución adicional no aporte mejoras o introduzca ruidos y errores en el ajuste.

Por último, hay que indicar que se han usado unidades de Sistema Internacional para todas las magnitudes, a excepción del tiempo:

T (temperatura) en grados Kelvin

t (tiempo) en minutos (por comodidad en lugar de segundos)

K (conductividad térmica) en $W/(m \cdot ^\circ C)$ entre (20-30) $^\circ C$)

ρ (densidad) en kg/m^3 (entre (20-30) $^\circ C$))

c (calor específico) en $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ (entre (20-30) $^\circ C$)

$\alpha = K / (\rho c)$

2.2 Diferentes métodos de cocinado: plancha y baja temperatura “*sous vide*”

Una vez conocidos los parámetros térmicos de la carne de cerdo, se prepararon por dos métodos muy diferentes diversas piezas para estudiar la influencia del método sobre el resultado final: a la plancha sobre una superficie caliente y cocido a baja temperatura y embolsado al vacío (“*sous vide*”). En todos los casos se midió la pérdida de peso tras cocinado (fundamentalmente agua y grasa).

Con un termómetro de cocina calibrado, se midió la temperatura interna de la pieza de carne, y se pretendió que se alcanzara una temperatura suficiente para conseguir la seguridad alimentaria. También se midió la temperatura del foco de calor (plancha o baño de agua) con un termopar (tipo K) calibrado. Tanto el termómetro de cocina como el termopar tienen un error en torno a $\pm 1^\circ C$.

Plancha.

Se utilizó una plancha de cocina convencional (Fig. 3(a)) a una temperatura máxima de 212 °C (Fig. 3(b)), se mantuvo la carne sobre la plancha hasta alcanzar una temperatura en el interior de la pieza de 60°C durante 5 minutos (3(b)).

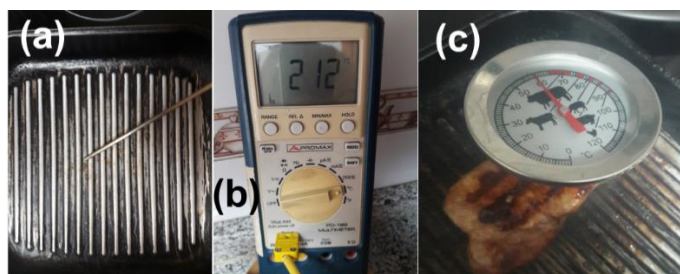


Figura 3: Detalles del cocinado a la plancha

Baja temperatura embolsado a vacío (“sous vide”).

Para cocinar a baja temperatura “*sous vide*”, se utilizó un baño de agua capaz de controlar la temperatura con un error de $\pm 1^\circ\text{C}$; se usó un baño de rotavapor marca Büchi B-480 y la temperatura del baño se calibró con un termopar tipo K (Figura 4(a)). Las piezas de carne se embolsaron al vacío con un equipo casero (Figura 4(b)), con la precaución de pinchar la carne con el termómetro de cocina antes de embolsar. Se midió el tamaño de las piezas de carne para asegurarse de que el termómetro estaba suficientemente dentro y la medida de temperatura sea representativa del interior del trozo de carne. Todo el preparado se introduce en el baño y se trata a la temperatura elegida (normalmente 70 °C) por el tiempo elegido (Figura 4(c)).

Finalmente, para producir la reacción de Maillard en la superficie de las piezas cocinadas a baja temperatura, se aplicó un soplete de acetileno.



Figura 4: Detalles de la cocción a baja temperatura “*sous vide*”

2.3 Estudio de la textura de la carne de cerdo por SEM

La microscopía electrónica de barrido, (SEM) es una técnica que permite observar y caracterizar con gran detalle todo tipo de materiales sólidos. Esta técnica utiliza un haz de electrones en lugar de luz y en este trabajo ha sido usado para revelar la morfología de muestras de carne de cerdo a grandes aumentos.

En este trabajo se ha utilizado el microscopio disponible en el SAI (Servicio de Asistencia a la Investigación, SAIDRXMEB) de la Universidad CEU San Pablo de Madrid, miembro de la red de laboratorios de la Comunidad de Madrid, LabNet, con número 255. En concreto el microscopio es del modelo Thermo Fisher Scientific Prisma E. Las condiciones de medida aparecen en el pie de foto de cada fotografía.

Se ha trabajado bajo vacío a 120Pa, con el detector “Low Vacuum (LVD)” de electrones secundarios a 10 kV y spot 2 (=17 pA). De este modo se evita la deshidratación de las muestras que se produce en caso de trabajar a alto vacío.

Para el estudio de materiales biológicos, como es el caso, la preparación de la muestra es muy importante. Se trata de obtener láminas finas de la carne, cortada en diferentes orientaciones con respecto a las fibras del músculo y la grasa, siendo necesario recubrir con una fina capa de oro para evitar la captura de electrones en la muestra. Se han obtenido láminas finas, de unas 500 micras de espesor, utilizando un procedimiento y útiles que se emplean para hacer cortes de cerebro de ratones. Sobre un taco de carne y girándolo se preparan láminas en las tres posibles orientaciones. En todos los casos se aplicó una capa de unos 10 nanómetros de oro para mejorar la calidad de las imágenes evitando la acumulación de electrones y facilitando la dispersión del calor. Para ello se utilizó la metalizadora Q150TS plus, de Quorum Technologies Ltd.

En cuanto a las muestras estudiadas por SEM, estas han sido: la carne en crudo, carne cocinada a la plancha (costra superficial e interior de la pieza de carne) y carne cocinada a baja temperatura “sous vide”. Se han obtenido imágenes en las tres orientaciones en todos los casos.

2.4 Medida del pH de la carne de cerdo cruda y cocinada

Para medir el pH de la carne se dispuso de un pH-metro modelo “827 pH Lab” de la marca Metrohm, dos disoluciones reguladoras de pH 4 y 7 y un frasco lavador con agua destilada. Este procedimiento se ha realizado en las siguientes muestras:

Carne en crudo.

Cocinada a la plancha: capa **externa** (donde se produce la reacción de Maillard) e **interior** de la pieza de carne. Se ha medido en al menos tres puntos en ambos casos.

Cocinada a baja temperatura tanto en la **superficie** como en el **interior** (se mide en al menos tres puntos). Se han preparado muestras cocinadas a diferentes temperaturas (50, 60, 70 y 80 °C) para determinar si la temperatura de cocción influye en el pH final de la carne.

2.5 Elaboración de las salsas para la carne cocida a baja temperatura.

Se han diseñado y preparado varias salsas para las piezas de carne preparadas a baja temperatura, siguiendo las ideas de compatibilidad y complementariedad de aromas recogidas en la Introducción.

En principio la base de las salsas son los aromas de la familia del sotolon, representados por el cacao/harina de algarroba y el chile chipotle (ahumado), presentes en todas las salsas. Algunas refuerzan esta familia añadiendo cerveza negra/ron añejo/whisky y especias como canela, y otras, y en otras salsas se añade un toque complementario con sustancias que aportan aromas anisados (apio, cebolla, pera).

Por último, se ha preparado una salsa donde el cacao se sustituye por algarroba, que además de aportar aromas de la familia sotolon, tiene en su propia constitución aromas complementarios anisados.

Las recetas de la preparación de estas salsas, los resultados de una cata de las mismas entre una serie de voluntarios, así como otros detalles experimentales y una ampliación del marco teórico, se pueden consultar en la página web: www.cienciaenlacocina.co

3. RESULTADOS

3.1 Transferencia de calor a través de la carne de cerdo.

Las propiedades termofísicas de la carne de cerdo, y en particular en su capacidad de transferencia de calor, explicarán por qué se obtienen resultados tan diferentes cuando se aplica calor a un trozo de carne por medio de una superficie caliente (plancha) o introduciendo la pieza completamente en un fluido caliente (*sous vide*).

En la Figura 5 se representa la variación de la temperatura con el tiempo para el experimento descrito anteriormente.

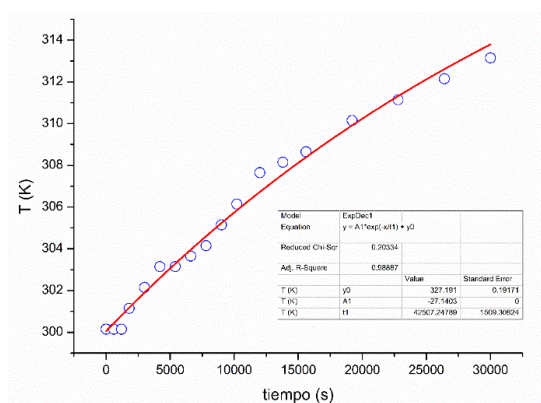


Figura 5: Datos experimentales T vs t y ajuste a la ecuación de Fourier.

El mejor ajuste de los datos experimentales se consigue con un único término exponencial (Ec. [4]), usando el parámetro A_1 que se calcula de la Ec. [5]. Ajustando el argumento de la exponencial y el término A_0 (temperatura de estado estacionario), se obtiene un buen ajuste con coeficiente de correlación $r^2=0.989$, y la temperatura del estacionario está dentro del error experimental (320 ± 1 K).

El valor de $\lambda_1 = 1 / \left(\alpha \frac{1^2 \pi^2}{L^2} \right)$ permite obtener $\alpha = \frac{L^2}{\lambda_1 1^2 \pi^2}$

Con $\lambda_1 = 42507 \pm 1500$; (error en torno al 4%)

$$\alpha = 1.37(4) \cdot 10^{-7}$$

Como $\alpha = K/(\rho c)$, es posible determinar K (conductividad térmica) usando los valores de ρ (densidad) y c (calor específico) recogidos para la carne de cerdo en el artículo (12).

Los valores son $c = 3.81$ (kJ/kg•C) (a 30 °C) y $\rho = 1090$ (kg/m³) (a 30 °C).

Con estos valores la conductividad térmica del lomo de cerdo ibérico, resulta:

$$K = 1.37 \cdot 10^{-7} \times 1090 \times 3.81 = 0.000568947 \text{ kW/(mC)} = 0.568947 \text{ W/(mC)}.$$

Suponiendo que el error de este parámetro es del mismo orden que el cometido en la determinación de α (del 4%), se tiene un valor de **K = 0.57(2) W/(mC)**.

3.2 Diferentes métodos de preparación.

3.2.1 Preparaciones a la plancha.

En la Figura 6 se puede observar la temperatura interna del cerdo tras haber sido cocinada mediante la plancha durante un largo período de tiempo (mayor del utilizado tradicionalmente). La temperatura máxima que se alcanza para una pieza 12x13x7 cm³ es de aproximadamente 60°C. Esta temperatura es un tanto baja, ya que, como se ha mencionado en la Introducción, la temperatura interna de la carne de cerdo debe rondar los 65-70°C durante un tiempo suficiente para que su consumo sea totalmente seguro. Alargando el tratamiento en la plancha no se consigue aumentar la temperatura interna; peor aún, un tiempo excesivo provoca que la superficie de la pieza de carne en contacto con la plancha se encuentre completamente carbonizada (Figura 7).



Figura 6: Cocinado en plancha



Figura 7: Costra carbonizada

El contacto de la carne con un foco caliente provoca la reacción de Maillard, deseable y favorable para la palatabilidad de la carne. En la Figura 6, se ven indicios de nuevas sustancias que aportan tonalidades marrones a la carne y el aroma característico de las carnes a la brasa o parrilla. En la Figura 6 se ven zonas con color y aspecto apetecible debido al tiempo limitado en el que la pieza estuvo interactuando con el foco de calor (la plancha). Sin

embargo, si la pieza de carne es un poco gruesa, es necesario aplicar calor por un periodo de tiempo que puede causar problemas en la superficie del bloque de carne. Así, en la Figura 7, se puede observar cómo se forma una gruesa costra de materia orgánica carbonizada. En este proceso aparecen también nuevas sustancias potencialmente dañinas, como puede ser la acrilamida, componente también del humo del tabaco (5).

La única manera de evitar la formación de cierta materia carbonizada es utilizar trozos de carne pequeños, al menos en una de sus dimensiones, es decir, filetes de poco grosor. Si se quiere cocinar a la plancha (o brasas) piezas de cierto tamaño, la formación de materia parcialmente carbonizada es inevitable.

3.2.2 Preparaciones a baja temperatura.

En la Figura 8 se pueden observar los diferentes aspectos de la carne de cerdo cocinada a baja temperatura. En primer lugar, la temperatura interior de la pieza de carne alcanza la del baño, normalmente en unos 30 minutos (Fig. 8(a)). Una vez alcanzada esa temperatura de referencia (normalmente 70°C) se puede mantener todo el tiempo que se quiera en el baño sin riesgo a que se produzca una pérdida de cualidades por sobrecocinado.

El aspecto de la carne cocinada a baja temperatura, (tanto externo Fig. 8(b) como interno Fig. 8(c)), es muy diferente a la de la plancha (Figura 9).

Las tonalidades de la carne son uniformes. Además, al haberse cocinado *sous vide*, se obtuvo un control completo sobre la temperatura de cocinado, asegurando la higiene y seguridad necesarias para el consumo.

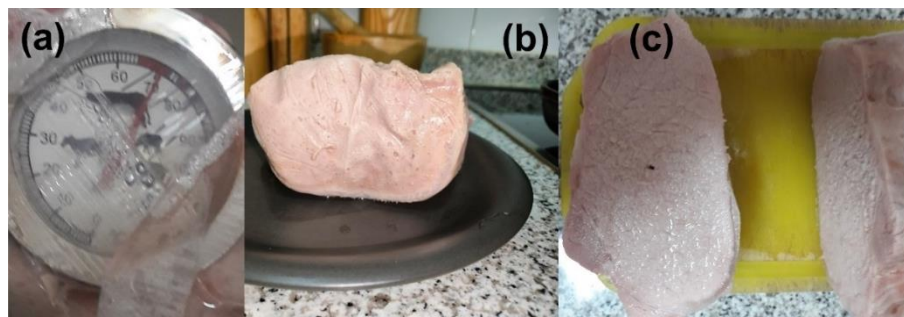


Figura 8: Diferentes aspectos de la cocción a baja temperatura: (a) temperatura del interior de la pieza de carne, (b) aspecto externo de la carne, (c) aspecto interno.

3.2.3 Pérdida de masa en ambos métodos de preparación

Se han registrado las pérdidas de masa sufridas por piezas de tamaño y peso similar cocinadas a la plancha y al vacío a baja temperatura. En este caso, la pieza se marcará con un soplete para obtener las características organolépticas que proporciona la reacción de Maillard, de modo que ambas piezas de carne presenten propiedades lo más parecidas posible. En la Tabla 1 se recogen las variaciones de masa en el proceso de cocinado por los dos métodos aplicados.



Figura 9: Aspecto del interior de una pieza de cerdo cocinada a baja temperatura (izquierda) y a la plancha (derecha).

El cocinado a la plancha provoca una disminución de peso de unos 25 g del inicial, lo que supondría una pérdida del 14% aproximadamente; mientras que, por la cocción a baja temperatura, la pérdida es de unos 17 g (un 9 % con respecto al peso inicial). Cuando se aplica el soplete a la pieza de baja temperatura, el peso disminuye otros 12 g lo que supone una pérdida total de 29 g con respecto al peso inicial, que es un 15% de este.

Tabla 1: Pérdidas de peso en el proceso de cocinado.

	Plancha	Baja temperatura
Masa en crudo (g)	181	195
Masa tras cocinado (g)	156	178
Masa tras marcado con soplete (g)	N/A	166

3.3 Textura a escala microscópica de la carne

Cerdo crudo

En la Figura 10 se muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido de la carne de cerdo cruda. Se observa que existen fibras musculares de varios milímetros de longitud que se disponen casi paralelamente formando haces de fibras Fig. 10(a)). Con más aumentos se aprecia que las fibras están a su vez formadas por microfibras de unas 0.5 micras de grosor y varias micras de longitud que están encajadas en una matriz continua (Fig. 10(b) y (c)) de modo que un haz de estas microfibrillas forma las fibras mayores observadas a menos aumentos.

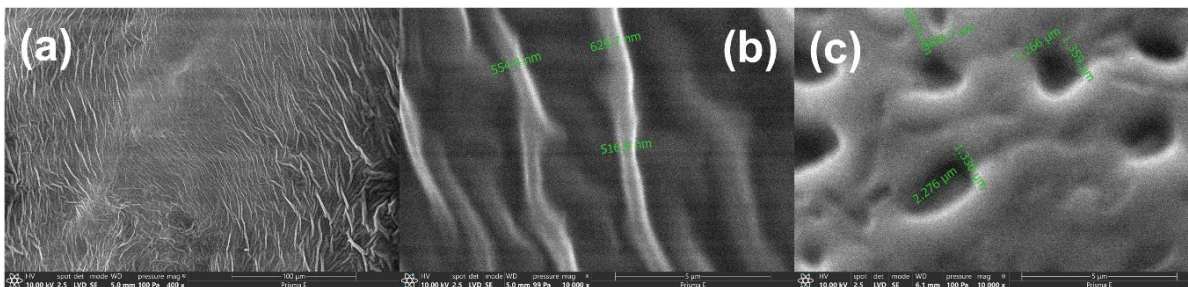


Figura 10: (a) Aspecto general de la carne de cerdo cruda a 400 aumentos; (b) imagen tomada a 10.000 aumentos y (c) imagen a 10.000 aumentos de los puntos de anclaje de las microfibrillas en la matriz que forma las fibras musculares.

Cerdo a la plancha.

La Figura 11 presenta las imágenes tomadas para una pieza de carne cocinada a la plancha. La Fig. 11(a) corresponde a la costra carbonizada de la Fig. 7. Se ven protuberancias y agujeros producidos por la formación y emisión de los gases de deshidratación y carbonización.

Las Fig. 11(b) y 11(c) corresponden al interior de la pieza. A pocos aumentos se observan fibras musculares rotas, retorcidas y arrancadas de la matriz envolvente. Esto es consecuencia de una pérdida de jugos (básicamente agua, pero también grasa) que hace que las fibras pierdan su conexión y se separen. En este proceso también pueden resultar rotas. A más aumentos se ve que las fibras tienen un aspecto quebradizo por pérdida de agua.

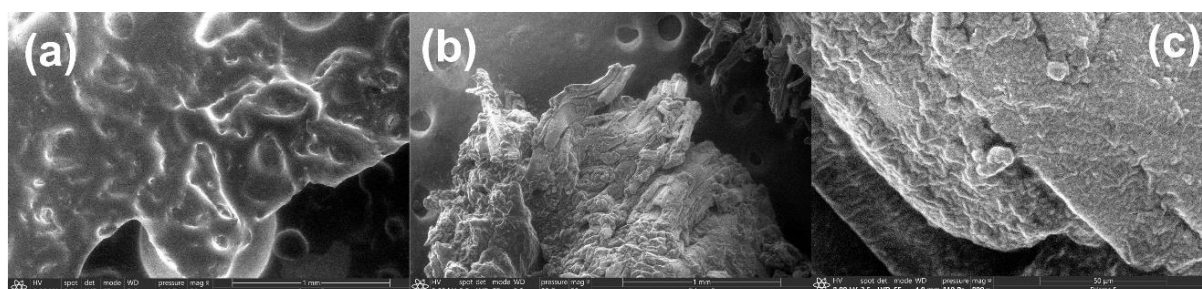


Figura 11: (a) Costra formada en la plancha; (b) imagen del interior de la pieza tomada a 50 aumentos y (c) imagen la superficie de una fibra a 800 aumentos.

Cerdo preparado a baja temperatura (*sous vide*)

Se han tomado imágenes de la carne de cerdo cocinada a baja temperatura (“*sous vide*”) en cortes en tres direcciones transversales.

En dos de las tres direcciones, Figs. 12(a) y 12(b), se ven las fibras musculares en el plano de la imagen formando haces más o menos compactos de bastante longitud (al menos de varios milímetros). La cohesión de los haces de fibras se aprecia mejor en el corte transversal a los haces (Fig. 12(c)) donde se ve que el empaquetamiento de las fibras se conserva después de la cocción, probablemente debido a una pequeña pérdida de agua.



Figura 12: Imágenes de tres cortes en direcciones transversales del interior de una pieza de carne cocinada a baja temperatura (“*sous vide*”) a 50 aumentos.

3.4 Variación del pH de la carne con el cocinado

El pH de la pieza en crudo es de 5.78, valor óptimo que corresponde a una carne que ha sido procesada correctamente desde el sacrificio del animal (con un mínimo de estrés) y una cadena de distribución correcta. (6)

En la superficie de la pieza preparada en la plancha, el pH (5.88) es ligeramente más básico que en crudo. Es difícil explicar esta variación de pH porque el calor intenso produce muchas reacciones además de la de Maillard, lo que origina un entorno químico complejo. Sin embargo, en el interior de la pieza el pH es bastante homogéneo y muy próximo al de la carne cruda (5.78-5.83). La explicación para esto reside en la degradación de Strecker, que sucede al aplicar calor sobre los aminoácidos que contienen las proteínas cárnicas. En esta degradación se liberan grupos amino que captan protones, volviendo el pH básico. Por ello se tienen valores más básicos de pH en las piezas cocinadas *sous vide* (5.98-6.05), ya que esta técnica permite alcanzar temperaturas superiores en el interior, dando lugar a una mayor degradación y a una mayor liberación de grupos amino. (13) La medida del pH podría servir como indicador de la temperatura alcanzada por la carne.

Claramente el pH de la carne se vuelve más básico al aumentar la temperatura de cocción. Esto sucede tanto para la superficie de la pieza como para el interior de la carne. Se observa que los rangos de valores de pH en el interior son más amplios, y en general los valores más bajos (ácidos) que en la superficie. En alguna zona donde el contenido de grasa es mayor se observan valores anormalmente básicos (estrella en la Fig. 13). La Figura 13 representa los valores de pH medidos en la superficie y en el interior de piezas de carne tratadas *sous vide* a diferentes temperaturas.

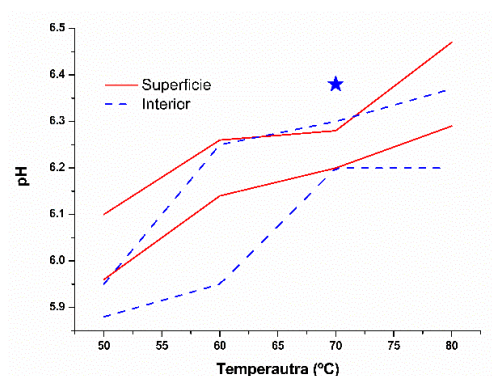


Figura 13: pH en función de la temperatura de cocción “*sous vide*”

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Métodos de preparación

Los resultados obtenidos permiten responder a la cuestión de cuál de los dos métodos de preparación produce una carne con mejores características en sentido amplio: asegura la

higiene y digestibilidad de la carne, supone una menor pérdida de peso (carne más jugosa y de mejor textura) y produce una mejor palatabilidad.

La cocción a baja temperatura con embolsado al vacío es muy superior en cuanto a higiene y digestibilidad, ya que se alcanza una temperatura homogénea suficientemente elevada en toda la pieza de carne. Que ésta se encuentre envasada al vacío, y no en un entorno abierto como la plancha, hace que a pesar de que se alcance unas temperaturas interiores mayores, la carne no sufra una pérdida de peso muy significativa. Sin embargo, con la plancha se obtiene una mejora en la palatabilidad y textura en la superficie por el desarrollo de la reacción de Maillard. Se puede provocar dicha reacción aplicando un calor intenso brevemente a las piezas cocidas a baja temperatura usando un soplete. Esto incrementa la pérdida de peso, pero limitada a la superficie de la pieza. De esta forma se provoca la reacción de Maillard sin modificar la textura y composición del interior de la pieza de carne. En la Figura 9, se puede observar la diferencia de tonalidades y de aspecto en general, del interior de las carnes cocinadas a vacío (izquierda) y plancha (derecha); el color más rojizo y el aspecto reseco de la carne a la plancha indica que esta pieza podría haber perdido más jugos (agua y grasa).

4.2 Transferencia de calor en la carne de cerdo ibérico

El valor de K (coeficiente de transferencia de calor) coincide con el publicado en (12) para la pata de cerdo blanco (Duroc). Así, no parecen existir diferencias relevantes en las propiedades térmicas de estas dos razas tan diferentes.

Por otra parte, la conductividad térmica del lomo de cerdo es muy baja en comparación con otros materiales, pero es de las más altas entre los distintos tipos de carnes; probablemente debido al mayor contenido en grasa frente a otras carnes. En cualquier caso, una conductividad térmica baja explica las ventajas de la cocina a baja temperatura “*sous vide*”: para alcanzar una temperatura suficiente en el interior de la pieza de carne es necesario aplicar un foco caliente a relativamente alta temperatura durante un tiempo suficientemente prolongado.

En la plancha, el foco de calor está en torno a 200 °C, y básicamente hay una dirección de flujo de calor: de la superficie de la plancha al interior de la carne. Para conseguir una cocción que asegure la higiene de la carne, (y los otros beneficios asociados a la cocción) se tienen que aplicar tiempos largos, pero no excesivos para evitar la carbonización de la superficie de la pieza de carne y la formación de sustancias cancerígenas.

En la cocción “*sous vide*” la pieza de carne está totalmente sumergida en el líquido caliente (normalmente agua), de modo que la difusión de calor es homogénea desde todas las direcciones. Como la temperatura se ajusta entre (60-70°C) no existe riesgo de carbonización ni de formación de sustancias peligrosas, y al estar la pieza de carne herméticamente embolsada se pueden aplicar cocciones de varias horas sin miedo a que se reseque pero

asegurando que se consiga en el interior una temperatura suficiente para cocinar perfectamente la pieza de carne.

En la cocción a la plancha nunca se alcanza el estado estacionario ya que el tiempo de cocción requerido para ello provoca la carbonización de la superficie en contacto con la plancha. Además, la distancia del centro de la pieza al foco de calor puede ser excesiva para alcanzar una temperatura interior suficiente, dado el bajo valor de K , y la naturaleza monodimensional de la transferencia de calor en este tipo de cocción.

En la cocción “*sous vide*” el aporte de calor proviene de todo el entorno de la carne sumergida en agua, de modo que el centro de la pieza, aunque esté a la misma distancia de la superficie (lo que depende del tamaño del trozo de carne) tiene un aporte de calor mucho mayor que en la cocción a la plancha. Así, aunque el foco de calor esté a menos temperatura que en la plancha (70°C frente a 200°C), la cantidad de calor que alcanza el interior del trozo de carne será mucho mayor.

4.3 La textura a escala microscópica

A pesar de que en la preparación a la plancha la temperatura en el interior de la pieza de carne es inferior a la alcanzada en la cocción *sous vide*, la carne experimenta una mayor pérdida de agua y sobrecalentamientos locales. Todo ello, hace que las fibras musculares se rompan, se separen de la matriz que las junta en forma de haces, y que se deshidraten y retuerzan. Como resultado se obtiene una microestructura poco regular, donde resulta evidente la pérdida de jugos (agua y grasa) que se produce al calentar en un sistema abierto. Por el contrario, al tratar la carne con un calentamiento más homogéneo y progresivo, la carne alcanzará con facilidad la temperatura de cocción deseada (entre 50 y 80°C). Esto desnaturalizará el colágeno presente en la carne, formando una gelatina que provocará que las fibras musculares se mantengan bien cohesionadas. Además, como la carne ha sido previamente envasada al vacío, ésta sufre una menor pérdida de agua y de forma menos violenta y acelerada.

4.4 El pH de la carne con el cocinado

La degradación de Strecker permite explicar por qué la cocción a mayor temperatura da como resultado una carne más básica. Así mismo, los resultados confirman que en el cocinado a la plancha se producen significativas diferencias de temperatura entre el interior de la pieza y el exterior. Se observa una correlación bastante clara entre la temperatura alcanzada por la carne y el pH de esta. Resulta significativo que incluso aplicando la técnica *sous vide* en tratamientos de más de una hora, se observen diferencias de pH (y de temperatura máxima alcanzada) entre la superficie de los trozos de carne y el interior. Esto parece sugerir que es realmente difícil conseguir una temperatura homogénea en el interior

de un “material” tan mal conductor del calor, o que las diferencias locales de composición de la carne inducen diferencias de temperatura notables.

5. CONCLUSIONES

5.1 Sobre la transferencia de calor en la carne de cerdo ibérico

Desde el punto de vista de la aplicación de calor para el calentamiento homogéneo y suficiente de las piezas de carne, la cocción *sous vide* es muy superior al uso de la plancha o similar. La baja transferencia de calor de la carne y la necesidad de alcanzar una temperatura mínima en su interior, son fuertes condiciones que limitan las técnicas culinarias aplicables. La plancha (o brasas) inevitablemente van a producir cierto grado de carbonización de la superficie de la pieza a cocinar.

5.2 Sobre los métodos de preparación

La mejor manera de cocinar una pieza de carne de cerdo de tamaño arbitrario, que presente una buena digestibilidad, segura desde el punto de vista de la higiene, que experimente poca pérdida de líquidos y que presenten unas buenas características organolépticas es empleando el método de la cocción a baja temperatura en un baño de agua, a una temperatura un poco más baja que la empleada en estos experimentos, de aproximadamente 60-65 °C con un tratamiento de varias horas, para más tarde marcar la carne con un soplete con el fin de aportar ese aroma, textura y sabor que se genera con la reacción de Maillard.

5.3 Sobre la textura a escala microscópica

Claramente la cocción *sous vide* es menos agresiva que la plancha, como resultado se conservan mejor los jugos y la textura de la carne de cerdo, a la vez que asegura que la temperatura interior sea suficiente para producir una mejor digestibilidad.

5.4 Sobre el pH de la carne con el cocinado

La medida del pH de la carne es un buen indicador de varios aspectos importantes de la carne de cerdo: desde la calidad de su procesado, transporte y distribución en crudo, hasta de la temperatura máxima a la que sido sometida y la homogeneidad de la cocción.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Carmody, R. N., Wrangham, R. W., The energetic significance of cooking, *J. Hum. Evol.*, 2009, 57(4):379-391. (DOI: 10.1016/j.jhevol.2009.02.011)
- (2) Wrangham, R. W., Conklin-Brittain, N.L., Cooking as a biological trait, *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.* 2003, 136(1):35-46 (DOI: 10.1016/S1095-6433(03)00020-5)
- (3) FAD, USA, Safe Food Handling; Disponible en; (<https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/safe-food-handling>); (revisado 11/07/2023, visitada 12/10/2023)
- (4) Everts, S. The Maillard Reaction Turns 100, *Chem. Eng. News Archive*, 2013, 90(40):58-60. (DOI: 10.1021/cen-09040-scitech2)
- (5) FAD, USA, , Acrylamide Questions and Answers, (<https://www.fda.gov/food/process-contaminants-food/acrylamide-questions-and-answers>) (revisado 22/05/2022, visitado 11/10/23)
- (6) Ruiz Carrascal, J., Martin, D., Ventanas, S., La calidad de la carne en porcino, *Porci.* 2004, 84, 14-33.
- (7) Chartier, F., Taste Buds and Molecules. *The Art and Science of Food With Wine*, NY, McClelland & Stewart, 2010.
- (8) Buck, L., Axel, R., A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition, *Cell*, 1991, 65(1):175-187. (DOI: 10.1016/0092-8674(91)90418-x)
- (9) Paysan, J., Breer, H., Molecular physiology of odor detection: current views, *Pflügers Arch.*, 2001, 441(5): 579-586. (DOI:10.1007/s004240000492)
- (10) Breer, H., Olfactory receptors: molecular basis for recognition and discrimination of odors, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2003, 377(3):427-433. (DOI: 10.1007/s00216-003-2113-9)
- (11) Franco García, A., EHU, España, La conducción del calor. Ley de Fourier, (http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/transporte/cond_calor/conduccion/conduccion.html) (revisada 2016, visitada 07/09/23)
- (12) Mascheroni, R., Thermophysical properties of meat products. General bibliography and experimental data. *Trans. ASABE*, 1987, 30:287.
- (13) Schonberg, A., Moubacher. R. The Strecker Degradation of α -Amino Acids. Department of chemistry, Faculty of Science, Fouad University, Giza, Cairo, Egypt. 1961.