

## ANEXO 1. PARTE EXPERIMENTAL

### A1.1 Estudio de la textura de la carne de cerdo usando un microscopio electrónico de barrido (SEM, Scanning Electron Microscope)

La microscopía electrónica de barrido, más conocida por las siglas SEM (Scanning Electron Microscopy) 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 lo hemos usado para revelar la morfología de muestras carne de cerdo a grandes aumentos. A continuación (Tabla A1.1.1) se muestran las diferencias básicas entre la microscopía óptica y electrónica.

**Tabla A1.1.1:** Características más relevantes de la microscopía óptica y electrónica.

|                                 | <b>Microscopía óptica</b>                                                                          | <b>Microscopía electrónica</b>                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fuente de iluminación</b>    | Luz visible                                                                                        | Haz de electrones emitidos por un cátodo                                               |
| <b>Tipo de lentes</b>           | Lentes ópticas de vidrio                                                                           | Lentes electromagnéticas que enfocan los electrones con campos eléctricos y magnéticos |
| <b>Observación de la imagen</b> | Directamente por el ojo humano, se pueden obtener fotografías usando cámaras                       | La imagen se forma en detectores especiales y se visualiza en una pantalla.            |
| <b>Imágenes obtenidas</b>       | Se observa la imagen directa, a color                                                              | Se requiere una pantalla, la imagen es en blanco y negro.                              |
| <b>Muestras observables</b>     | Muestras muertas y vivas                                                                           | Muestras muertas, solo en los equipos más avanzados se puede estudiar seres vivos.     |
| <b>Poder de resolución</b>      | 0,1-0,2 $\mu$ . Se pueden observar bacterias, cloroplastos, mitocondrias de 0,5 $\mu$ m de tamaño. | Hasta 0.2 nm (mil veces superior). Se observan ultraestructuras celulares y virus.     |
| <b>Aumentos</b>                 | Hasta 2000x                                                                                        | Hasta 1.000.000x                                                                       |
| <b>Tamaño de la muestra</b>     | Cortes finos realizados con micrótomos.                                                            | Cortes ultrafinos realizados con ultramicrotomos especiales.                           |
| <b>Imagen tridimensional</b>    | No.                                                                                                | Sí, en superficie.                                                                     |
| <b>Sistema de vacío</b>         | No.                                                                                                | Sí, necesario para el funcionamiento.                                                  |
| <b>Tipos</b>                    | Microscopio compuesto y estereomicroscopio.                                                        | Microscopio de barrido y de transmisión.                                               |

## Fundamento del microscopio electrónico de barrido

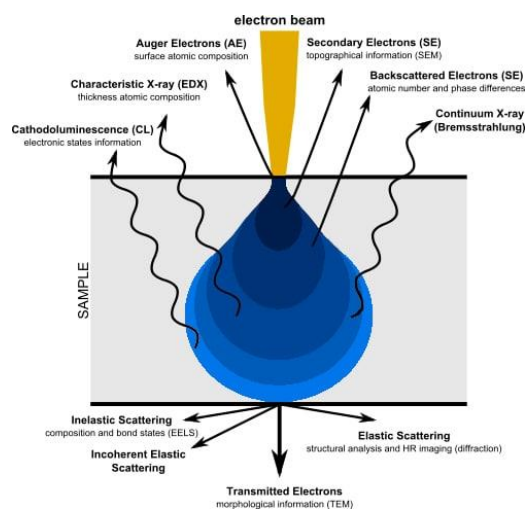
(adaptado de <https://www.atriainnovation.com/microscopia-electronica-de-barrido-sem-utilidades/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20microscop%C3%ADa%20electr%C3%B3nica,que%20son%20recogidas%20por%20detectores> )

La microscopía electrónica de barrido se fundamenta en la emisión de un barrido de haz de electrones sobre la muestra, los cuales interaccionan con la misma produciendo diferentes tipos de señales que son recogidas por detectores. Finalmente, la información obtenida en los detectores se transforma en una imagen de alta definición, con una resolución de 0.4 a 20 nanómetros. Obtenemos una imagen de alta resolución de la superficie de nuestra muestra.

Los microscopios electrónicos de barrido (SEM) cuentan con un filamento que genera un haz de electrones que impactan con la muestra. Los electrones chocan con la muestra que se está estudiando y producen distintas señales que son interpretadas por distintos detectores. Con esta información somos capaces de obtener información superficial de:

- Forma y topografía
- Textura
- Composición

La interacción del haz de electrones con la superficie de la muestra se produce en forma de 'pera' (Figura A1.1.1). La penetración dependerá de los kV a los que trabajemos, normalmente la penetración es de 1-5 micras.



**Figura A1.1.1:** Interacción haz electrones con la muestra, modelo 'pera'

## Detectores en un microscopio electrónico de barrido (SEM)

Los detectores más habituales son los siguientes:

### **Detector de electrones secundarios (SE)**

Capta la energía proveniente de los electrones secundarios generados en el material por la interacción del haz de electrones (la energía del haz de electrones incidente provoca la emisión de electrones de los átomos de la muestra). Aportan la información de la textura/topografía más superficial al provenir de la capa más externa (la 'pera' más cercana a la superficie en la imagen inferior).

### **Detector de electrones retrodispersados (BSE)**

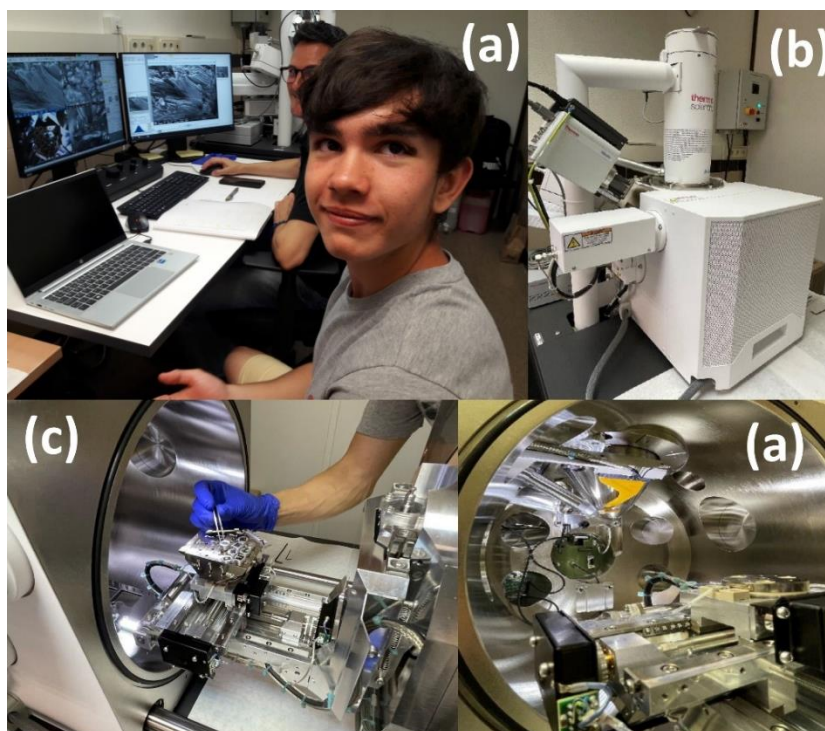
Capta la energía proveniente de los electrones retrodispersados (segunda capa de la 'pera'). Tiene menos resolución de la superficie, pero es sensible a las variaciones en el número atómico de los elementos de la superficie, y por tanto en la composición. Observaremos distinto tono de gris según el peso atómico (más claro si el elemento es más pesado ya que emite más energía y 'brilla' más).

### **Detector de Rayos X (EDX, EDS o EDAX)**

Este detector capta la energía proveniente de los rayos X generados en la superficie (tercera capa de la 'pera') y son característicos de cada elemento de la muestra por lo que nos aportan información sobre la composición elemental. Los EDX pueden aplicarse en un punto en concreto de la superficie de la muestra o en un área. Cuando el análisis se aplica en un área, cabe la posibilidad de obtener un mapa con los diferentes elementos que presenta el área seleccionada de la muestra, siendo representado cada elemento con un color diferente.

Un aspecto importante, que en algunos casos puede ser una limitación, es que los electrones del haz de barrido no tienen que "acumularse" en la muestra, de lo contrario la muestra se vuelve brillante y no se puede una obtener imagen útil. Por ello, la muestra se deposita sobre un soporte metálico al que se pega con una cinta de grafito (conductor eléctrico). Si la muestra no es suficientemente conductora, se recubre con una delgada capa conductora de metal (Au, Pt) o de carbono de unos pocos nanómetros para no interferir en la morfología de la superficie.

En este trabajo se ha utilizado el microscopio disponible en el SAI (Servicio de Asistencia a la Investigación, SAIDRXMED) 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 (Figura A1.1.2).



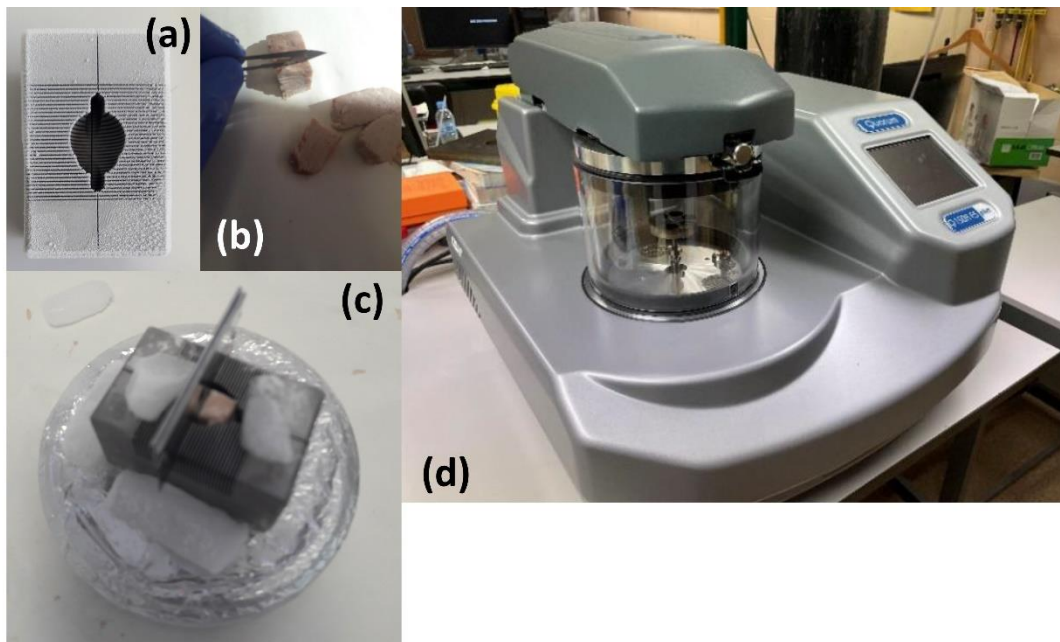
**Figura A1.1.2:** Fotos del microscopio SEM utilizado.

En la Figura A1.1.2(a) se presenta una vista general del microscopio y del local donde se encuentra; en segundo plano se ve al técnico del Servicio (Lautaro Biancotto) que ha sido de gran ayuda. En (b) se muestra la columna donde se genera el haz de electrones y la cámara donde se ponen las muestras. (c) y (d) muestran el portamuestras multi posición/multipropósito y el interior de la cámara donde se ven los diferentes detectores que se han comentado más arriba.

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.

Las láminas finas, de unas 500 micras de espesor, se ha obtenido utilizando el útil mostrado en la Figura A1.1.2(a), usado habitualmente para preparar cortes de cerebros de ratones de laboratorio (de ahí la forma). El procedimiento consiste en enfriar un taco de carne, previamente cortado de un tamaño que permita fijarlo en el útil comentado (Figura A1.1.2(b), con hielo seco (dióxido de carbono sólido) para evitar que capte agua, hasta que adquiriera una textura suficientemente dura para permitir un corte limpio. Se fija con una hoja de bisturí en un extremo y se hacen cortes usando las ranuras del útil separadas 500 micras (Figura A1.1.2(c)). De este modo se preparan varias muestras con una determinada orientación. Repitiendo del procedimiento con el taco de carne girado 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., que se muestra en la Figura (Figura A1.1.3(d))



**Figura A.1.3:** Proceso de preparación de cortes de carne de cerdo para su estudio por SEM.

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.

## **A1.2. Determinación de parámetros térmico de la transferencia de calor en la carne de cerdo por aplicación de la ecuación de Fourier**

### **¿Qué es la ecuación de Fourier?**

#### **Características que deben darse para que se cumpla Ecuación**

Se ha realizado un experimento para obtener algunos parámetros térmicos de determinan la transferencia de calor en el seno de la carne de cerdo empleada (lomo ibérico). Para ello, se diseñó un experimento que permita aplicar la ley de Fourier y usando algunos parámetros conocidos de la carne, calcular otros. 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 (que permite alargar los tiempos de tratamiento para una pieza de carne dada) con respecto al uso de la plancha.

En principio la ley de Fourier trata el problema de la conducción del calor a lo largo de una **barra metálica** se establecerán temperaturas fijas en los extremos de la barra. 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.

Los fenómenos de transporte (de cualquier tipo) son procesos en los que hay una transferencia neta o transporte de **materia, energía o momento lineal** en cantidades grandes o macroscópicas. Todos ellos tienen aspectos comunes que se pueden describir mediante la ecuación diferencial para la propagación unidimensional:

$$\partial \Psi / \partial t = \alpha \partial^2 \Psi / \partial x^2 \quad \text{Ecuación [A1.2.1]}$$

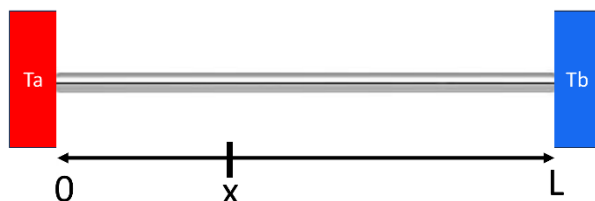
Donde  $\alpha$  es una constante característica de cada situación física y  $\Psi$  es el campo correspondiente al fenómeno de transporte de que se trata (concentración de una especie que difunde, temperatura, etc.) y  $x$  es la dirección de difusión.

Los dos fenómenos de transporte más conocidos gobernados por una ecuación como [A1.2.1] son la ley de Fick de la difusión de un soluto en una disolución y la de **Fourier** para la conducción térmica. En este caso el campo  **$\Psi$  es la temperatura  $T$** , y el coeficiente  **$\alpha = K/(pc)$** , donde  **$K$ , es la conductividad térmica,  $p$  la densidad, y  $c$  es el calor específico del material**. 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:

$$\partial T / \partial t = \alpha \partial^2 T / \partial x^2 \quad \text{con} \quad \alpha = K/(pc) \quad \text{Ecuación [A1.2.2]}$$

En la Figura A1.2.1 se muestra un croquis de un sistema para el estudio de la aplicación de la ley de Fourier.



**Figura A1.2.1:** Esquema de un experimento para aplicar la ecuación de Fourier 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.

$$T_x (\text{estacionario}) = T_a + \frac{(T_b - T_a)}{L} x \quad \text{Ecuación [A1.2.3]}$$

Resolviendo la ecuación diferencial [A1.2.2] es posible obtener la temperatura en cualquier punto en cualquier momento (estado transitorio).

La resolución de esta ecuación está totalmente fuera de los objetivos de este trabajo, y puede encontrarse en cualquier libro de Física avanzada; en nuestro caso se ha tomado de la página web [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/transporte/cond\\_calor/conduccion/conduccion.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/transporte/cond_calor/conduccion/conduccion.html) del Prof. Franco de la Univ. del País Vasco.

Así, la temperatura de la barra en el régimen transitorio queda:

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

Con los coeficientes  $a_n$ :

$$\begin{aligned} \frac{2}{n\pi} (2T_0 - T_a - T_b) & \quad n \text{ impar} \\ \frac{2}{n\pi} (T_b - T_a) & \quad n \text{ par} \end{aligned} \quad \text{Ecuación [A1.2.4]}$$

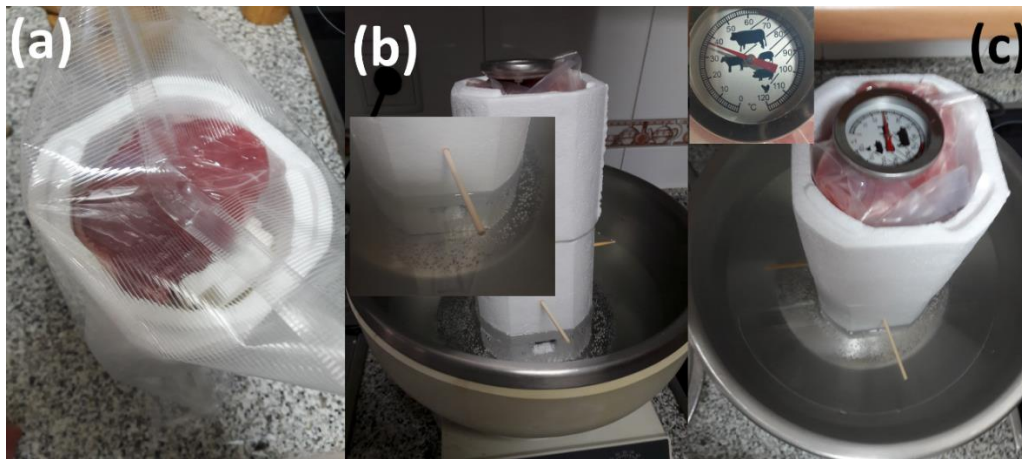
donde  $T_0$  es la temperatura inicial de la barra (en nuestro caso de la pieza de cerdo) y el resto de los parámetros tiene en significado que ya se explicó.

A continuación, se describe el montaje experimental realizado para el estudio de la transferencia de calor en el lomo de cerdo.

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. A1.2.2, la pieza de lomo se embutió dentro de un recipiente aislante térmico de poliestirén Fig. A1.2.2(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. A1.2.2(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 poliestirén se hicieron unas ranuras de tamaño suficiente (ampliación en la Fig. A1.2.2(b)). 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. A1.2.2(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 mejor que  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . 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.



**Figura A1.2.2:** Montaje de la pieza de lomo de cerdo para experimento de transferencia de calor y aplicación de la ecuación de Fourier.

Así pues, los parámetros experimentales necesarios para aplicar la ecuación de Fourier en nuestro caso aparecen en la Tabla A1.2.1, así como los coeficientes  $a_n$  (hasta el término sexto) de la Ecuación [A1.2.4].

**Tabla A1.2.1:** Parámetros experimentales para la aplicación de la ley de Fourier. Las temperaturas tienen un margen de error de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| $T_a$ (°C)                                    | 27        |
| $T_b$ (°C)                                    | 70        |
| $T_0$ (°C)                                    | 27        |
| $L$ (cm)                                      | 24        |
| $x$ (cm)                                      | 11        |
| $a_1$                                         | -27.37459 |
| $a_2$                                         | 13.68729  |
| $a_3$                                         | -9.12486  |
| $a_4$                                         | 6.843647  |
| $a_5$                                         | -5.47492  |
| $a_6$                                         | 4.56243   |
| Temperatura estacionario<br>( $x=11$ cm) (°C) | 47        |

Se midió la temperatura en el montaje mostrado en la Figura A1.2.2(c), hasta 500 minutos, a intervalos variables entre 10 y 30 min. Se recogieron uno 20 puntos Tx vs tiempo. 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 Ecuación [A1.2.5]. Para ello se utilizó el software OriginPro 8.5.0 de OriginLab Corporation.

$$Tx(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \exp(-t/\lambda_n)) \quad \text{Ecuación [A1.2.5]}$$

Donde Tx es la temperatura en el punto en estudio, t es el tiempo (variable independiente), A<sub>0</sub> es un término independiente, A<sub>n</sub> y λ<sub>n</sub> son el coeficiente y un parámetro de cada término exponencial.

El significado de A<sub>0</sub>, A<sub>n</sub> y λ<sub>n</sub> se obtiene comparando las Ec. [A1.2.5] y Ec. [A1.2.4].

Así,

$A_0 = Ta + \frac{(Ta-Tb)}{L} x$  (con las condiciones del experimento: x=11 y L=44), que es la temperatura en estado estacionario para x= 11 cm (Tabla A1.2.1)

$A_n = a_n \sin\left(\frac{n\pi}{L} x\right)$ ; con (x=11 y L= 44) se calculan los valores que aparecen en la Tabla A1.2.2.

**Tabla A1.2.2:** Coeficientes A<sub>n</sub> para el ajuste de los datos experimentales.

|                |           |                |          |
|----------------|-----------|----------------|----------|
| A <sub>1</sub> | -27.14040 | A <sub>4</sub> | -3.42174 |
| A <sub>2</sub> | 3.54244   | A <sub>5</sub> | -4.34390 |
| A <sub>3</sub> | 8.43031   | A <sub>6</sub> | 3.22606  |

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/(ρc)) que contiene información sobre el comportamiento térmico de la carne de cerdo.

En el proceso de ajuste (Ec. [A1.2.5]) el valor de A<sub>0</sub> se conoce y puede mantenerse constante, aunque es un parámetro libre. Sucede lo mismo para los parámetros A<sub>n</sub> (ver Tabla A1.2.2) de manera que los únicos parámetros libres del ajuste son los valores de λ<sub>n</sub>. Una vez obtenido el mejor ajuste se obtiene n valores de α que deberían coincidir dentro del error experimental.

Un asunto importante es determinar cuántos términos exponenciales de la ecuación [A1.2.5] 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 aporta mejora o introduce ruido y errores en el ajuste.

Por último, hay que indicar que se han usado unidades de sistema internacional para todas las magnitudes:

**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  $(20-30) ^\circ C$

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

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

### **A1.3. Medida del pH de la carne de cerdo cruda y tras diferentes cocinados a diferentes temperaturas**

Para medir el pH de la carne se dispondrá de un pH-metro modelo “827 pH Lab” de la marca Metrohm, dos disoluciones reguladoras de pH 4 y 7 (3 en la Figura A1.3.1) y un frasco lavador con agua destilada (2 en la Figura 1.3.1). Un pH-metro consiste en un electrodo de vidrio (4 en la Figura 1.3.1) (en donde ocurre una reacción redox cuyo potencial depende de la concentración de protones) conectado al exterior a través de un vidrio permeable a los protones. Al introducir el electrodo en una disolución, se produce un intercambio de protones del exterior al interior o viceversa y cambia el potencial de la reacción. A través de la calibración del equipo, se convierte en un valor de pH mostrado en la pantalla del dispositivo (1 en la Figura 1.3.1).



**Figura A1.3.1:** pH-metro, disoluciones y frasco lavador utilizados para medir el pH de las piezas de carne.

Para medir el pH se seguirán los siguientes pasos.

### Calibrado del pH metro:

1. Introducir el electrodo en el ácido de pH 7 y medir su valor. Una vez medido, se retira de la disolución y se limpia con agua destilada.
2. Repetir el procedimiento con la disolución de pH 4.
3. Limpiar nuevamente el electrodo con agua destilada.

### Medida del pH de las diferentes muestras:

Pinchar el electrodo en la pieza de carne y leer el valor de pH en el display. Tras cada pinchada de electrodo se limpia con agua destilada.

El calibrado se realiza antes de medir cada muestra.

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.

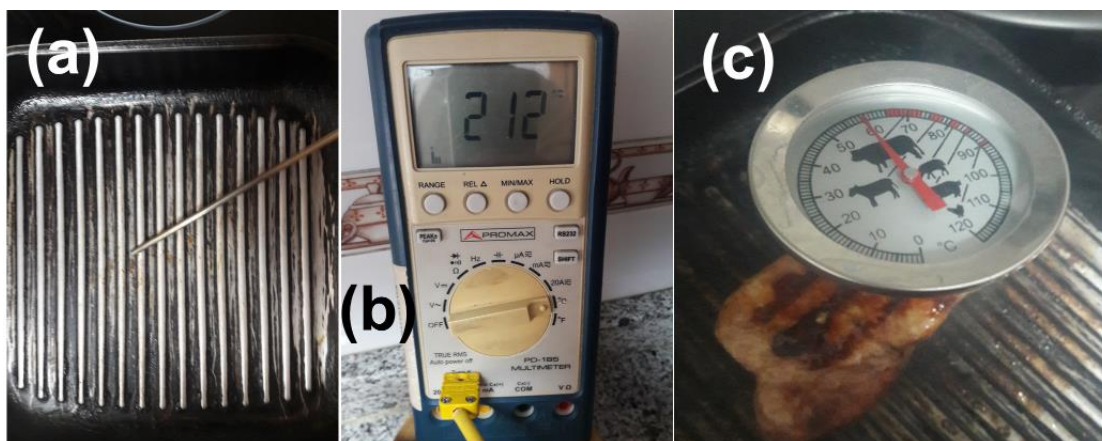
**Cocinada a baja temperatura** tanto en la **superficie** como en el **interior** (se mide en al menos tres puntos). Se han preparado **muestras cocinada a diferentes temperaturas** (50, 60, 70 y 80 °C) para determinar si la temperatura de cocción influye en el pH final de la carne.

### **A1.4. Aplicación de diferentes métodos de cocinado: plancha y baja temperatura “sous vide”**

Se han utilizado diferentes piezas de lomo de cerdo ibérico que se prepararon por dos métodos muy diferentes. A la plancha sobre una superficie caliente y cocido a baja temperatura embolsado a 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  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**Plancha.** Se utilizó una plancha de cocina convencional (Figura A1.4.1(a)) que alcanzó una temperatura máxima de 212 °C (Figura A1.4.1(b)), se mantuvo la carne sobre la plancha hasta alcanzar una temperatura en el interior de la pieza de 60°C durante 5 minutos (A1.4.1(b)).



**Figura A1.4.1:** 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  $\pm 11^{\circ}\text{C}$ ; se usó un baño de rotavapor marca Büchi B-480, la temperatura del baño se calibró con un termopar tipo K (Figura A1.4.2(a)). Las piezas de carne se embolsaron a vacío con un equipo casero (Figura A1.4.2(b)), con la precaución de pinchar el termómetro de cocina antes del embolsar. Se midió el tamaño de las piezas de carne para asegurarnos de que el termómetro estaba suficientemente dentro y la medida de temperatura es representativa del interior del trozo de carne. Todo el preparado se introduce en el baño y se trata a la temperatura elegida (normalmente  $70^{\circ}\text{C}$ ) por el tiempo elegido (Figura A1.4.2(c)).



**Figura A1.4.2:** Detalles de la cocción a baja temperatura “sous vide”

Finalmente, para producir la reacción de Maillard en la superficie de las piezas cocinadas a baja temperatura, se ha aplicado un soplete de acetileno, como se ilustra en la **Figura A1.4.3**.



**Figura A1.4.3:** Tratamiento superficial de piezas preparadas a baja temperatura “*sous vide*”

### **A1.5 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. La hipótesis es que si combinamos diferentes alimentos cuyas moléculas aromáticas sean similares, obtendremos un plato de gran nivel con aromas reforzados dentro de la misma gama. Otras salsas exploran la idea de complementariedad de moléculas aromáticas total.

En principio la base de las salsas son los aromas de la familia del sotolon, representados por el cacao y el chile chipotle (ahumado), presentes en todas las salsas. Algunas refuerzan esta familia añadiendo cerveza negra 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 se dan a continuación.

Para saber el éxito conseguido con nuestras salsas, se realizó una serie de catas a ciegas de estas para evaluar sus propiedades organolépticas, tal como muestra en las Figuras A1.5.1 y A1.5.2. En la cata han participado algunas personas de origen étnico-cultural no europeo (indios y magrebíes) obtener puntos de vista de diversas culturas por lo que se han elaborado versiones en castellano e inglés.

## **Recetas de las salsas.**

### **Receta 1 (28/02/2023)**

#### **Ingredientes:**

- 3 onzas de chocolate del 99%
- Un chile chipotle ahumado
- Media cucharadita de canela en polvo
- Una punta de cucharadita de clavo en polvo
- Una punta de cucharadita de comino en polvo
- Aceite ahumado aromatizado (un chorro)
- 50 cc de cerveza negra (tipo Porter)
- Semillas de ajonjolí
- Una pizca de sal

#### **Elaboración:**

Se derrite el chocolate en una olla al baño María con la cerveza, y cuando se hayan homogeneizado, añadir el resto de los componentes y mezclarlo todo bien con un tenedor para fabricar una salsa bastante densa. Se sirve en plato con unas semillas de ajonjolí como decoración.

### **Receta 2 (23/04/23)**

#### **Ingredientes:**

- 11 gr de cacao del 100%
- Un chile chipotle ahumado
- Una cucharadita de canela
- 2 cucharadas pequeñas de mantequilla
- 200 gr de hinojo
- 2 cucharadas de mantequilla
- 2 cucharadas de azúcar molida
- 2 peras enteras
- Un dedo de ron añejo

#### **Elaboración:**

En una sartén, ir derritiendo las dos cucharadas pequeñas de mantequilla mientras vamos picando el hinojo. Una vez picado, agregarlo a la sartén cuando la mantequilla esté fundida y sofreír hasta que quede blandito y dorado. En una sartén aparte, formar un caramelo con las dos cucharadas de mantequilla restantes y las cucharadas de azúcar y, mientras se forma, pelar y picar en trozos no muy grandes las peras. Una vez formado el caramelo, le echaremos la pera y esperaremos a que esta se reblandezca y forme una especie de puré. Cuando adquiera esta textura, añadiremos la mezcla anterior del hinojo y el chile chipotle troceado. Mientras esto sucede, ir derritiendo en un cazo aparte el chocolate, al que le echaremos tanto el ron como la canela. Cuando veamos que toma una textura de salsa, lo dejaremos reposar mientras lo removemos y licuamos toda la mezcla de

ingredientes anterior. Una vez licuada, le añadiremos al cazo donde se encontraba la salsa de cacao y lo removeremos todo muy bien hasta que se homogeneice.

### **Receta 3 (14/05/23)**

Ingredientes:

- 12 gr de chocolate del 100%
- Un chile chipotle ahumado
- 3 naranjas de zumo
- 2 cebollas dulces (560 gr aprox)
- AOVE
- Clavo en polvo

Elaboración:

Exprimir las naranjas mientras se va calentando una sartén con un chorro de AOVE. Picar las cebollas en trozos pequeños y añadirlos a la sartén para saltearlos junto al chile chipotle ahumado troceado. Añadir el jugo de naranja que nos haya salido a la mezcla, y dejarlo cocinar. En un cazo aparte, disolver los 12 g de cacao puro en unos 200 ml de agua y añadir a la salsa resultante tanto la cascara de la naranja como una punta de cucharadita de clavo. Una vez tengamos la salsa bien mezclada, licuar la cebolla junto a los demás ingredientes y le añadir el puré resultante a la salsa de cacao puro. Mezclar todo bien hasta que se homogeneice y dejarlo reposar hasta que sea hora de servirlo.

### **Receta 4 (04/06/23)**

Ingredientes:

- 12 gr de chocolate del 100%
- Un chile chipotle ahumado
- 800 gr apio
- 2 cucharadas de mantequilla
- 3 cucharaditas de azúcar morena
- Una cucharadita de pimienta rosa recién molida

Elaboración:

En una sartén grande, echar dos cucharadas de mantequilla e ir derritiéndolas. Mientras esto sucede, cortar el apio en trozos no muy grandes y quitarle las hebras que queden. Cuando la sartén esté caliente, la mantequilla derretida y el apio cortado y deshebrado, echar el apio en la sartén y dejarlo pochar a fuego bajo durante un tiempo hasta que quede bien blandito y dorado (removerlo de forma regular para que no se queme).

Cuando el apio ya esté pochado, colocar granos de pimienta rosa en un molinillo y moler aproximadamente una cucharadita de esta para añadirla al apio y mezclarlo. En un cazo aparte, disolver los 12 gr de cacao puro con agua y, cuando se forme una salsa, añadirle las 3 cucharadas de azúcar morena y mezclarlo bien. Finalmente licuar el apio y añadirle el puré resultante a la salsa de cacao y remover toda la mezcla hasta que se homogeneice. Dejarlo reposar hasta el momento de servir.

#### **Receta 5 (04/06/23)**

##### **Ingredientes:**

- Cuatro cucharadas soperas de harina de algarroba
- Un chile chipotle ahumado
- Una cucharada sopera rasa de polvo de trompetas de la muerte
- 250 mL de leche
- 120 mL de bebida de soja
- 120 mL de agua
- Dos cucharadas soperas de aceite de oliva (AOVE)
- 10 mL de ron añejo
- 14 medias nueces (peladas) (se pueden usar avellanas).

##### **Elaboración:**

Se fríe el aceite en un cazo de tamaño mediano, una vez frito se le añade la mezcla de leche/agua/soja previamente calentada aparte.

Se pone a fuego medio y cuando hierve se añade la harina de algarroba y se remueve hasta que empieza a espesar. Se añade el ron y el polvo de setas removiendo continuamente para evitar que se agarre.

Se añade ahora el chile cortado en trocitos y las nueces (o avellanas) ligeramente molidas removiendo.

Se mantiene al fuego removiendo hasta que espese; si es necesario se añade un poco de agua para obtener se alcance la textura deseada.

No lleva sal.

| Evaluación sensorial salsas de cerdo a baja temperatura                                                                                                                                 |                                   |                          |                                  |                  |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| Receta número                                                                                                                                                                           |                                   | Componentes principales: |                                  |                  |                   |
| Instrucciones: Rodee una sola calificación para los recuadros de las categorías de: Apariencia, Sabor, Textura, Aroma, Dulzor, Salado, Amargor, Acidez, Picante, Retrogusto y Conjunto. |                                   |                          |                                  |                  |                   |
| Apariencia:                                                                                                                                                                             | Extremadamente atractivo          | Moderadamente atractivo  | Atractivo                        | Poco atractivo   | Nada atractivo    |
| Sabor:                                                                                                                                                                                  | Sabor espectacular                | Sabroso                  | Aceptable                        | Falto de sabor   | Inaceptable       |
| Textura:                                                                                                                                                                                | Textura maravillosa               | Buena textura            | Aceptable                        | Mejorable        | Inapropiada       |
| Aroma                                                                                                                                                                                   | Aroma maravilloso                 | Apetecible               | Aceptable                        | No apetecible    | Desagradable      |
| Dulzor:                                                                                                                                                                                 | Extremadamente dulce              | Moderadamente dulce      | Dulzor adecuado                  | Falto de dulzor  | Sin dulzor        |
| Salado:                                                                                                                                                                                 | Extremadamente salado             | Moderadamente salado     | Adecuado                         | Soso             | Muy soso          |
| Amargor:                                                                                                                                                                                | Extremadamente amargo             | Moderadamente amargo     | Amargor adecuado                 | Poco amargo      | Nada amargo       |
| Acidez:                                                                                                                                                                                 | Extremadamente ácido              | Moderadamente ácido      | Acidez adecuada                  | Falto de acidez  | Sin acidez        |
| Picante:                                                                                                                                                                                | Extremadamente picante            | Moderadamente picante    | Picante adecuado                 | Falto de picante | Sin sabor picante |
| Retrogusto:                                                                                                                                                                             | Extremadamente duradero e intenso | Duradero e intenso       | Moderadamente duradero e intenso | Breve y leve     | Sin retrogusto    |
| Conjunto                                                                                                                                                                                | Excelente                         | Muy aceptable            | Aceptable                        | Poco aceptable   | Inaceptable       |

**Figura A1.5.1:** Guía para la cata de las salsas en español.

| Evaluación sensorial                                                                                                                                                                               |                               |                       |                                |                    |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Receipt number                                                                                                                                                                                     |                               | Main components:      |                                |                    |                    |
|                                                                                                                                                                                                    |                               |                       |                                |                    |                    |
| Instructions: Circle only one calibration for each box with the categories of: Appearance, Flavour, Texture, Smell, Sweetness, Saltiness, Bitterness, Acidity, Spiciness, Aftertaste and Compound. |                               |                       |                                |                    |                    |
|                                                                                                                                                                                                    |                               |                       |                                |                    |                    |
| Appearance.                                                                                                                                                                                        | Extremely attractive          | Moderately attractive | Attractive                     | A bit attractive   | Not attractive     |
| Flavour:                                                                                                                                                                                           | Espectacular flavour          | Flavourful            | Acceptable                     | Lack of flavour    | Unacceptable       |
| Texture:                                                                                                                                                                                           | Amazing texture               | Good texture          | Acceptable                     | Improvable         | Inappropriate      |
| Smell                                                                                                                                                                                              | Incredible smell              | Appetising            | Acceptable                     | Not appetising     | Unpleseant         |
| Sweetness                                                                                                                                                                                          | Extremely sweet               | Modertely sweet       | Appropriate sweetness          | Lack of sweetness  | Without sweetness  |
| Saltiness:                                                                                                                                                                                         | Extremely salty               | Moderately salty      | Appropriate saltiness          | Lack of saltiness  | Without saltiness  |
| Bitterness:                                                                                                                                                                                        | Extremely bitter              | Moderately bitter     | Appropriate bitterness         | Lack of bitterness | Without bitterness |
| Acidity:                                                                                                                                                                                           | Extremely acid                | Moderately acid       | Appropriate acidity            | Lack of acidity    | Without acidity    |
| Spiciness:                                                                                                                                                                                         | Extremely spicy               | Moderately spicy      | Appropriate spiciness          | Lack of spiciness  | Without spiciness  |
| Aftertaste:                                                                                                                                                                                        | Extremely intense and lasting | Intense and lasting   | Moderately intense and lasting | Slight and short   | Without aftertaste |
| Compound:                                                                                                                                                                                          | Extremely acceptable          | Very acceptable       | Acceptable                     | Little acceptable  | Unacceptable       |

**Figura A1.5.2:** Guía para la cata de las salsas en inglés.