ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1025

Evaluation of the maturation of Swiss-type cheese in a prototype system of NIR spectroscopy and artificial intelligence.

Jimy Oblitas-Cruz[1]; Yuleyci Cieza-Rimarachin[2]; José Cruz-Oblitas[3]
[1,3]Universidad Privada del Norte, Perú, *jimy.oblitas@upn.edu.pe, n00305217@upn.pe*
[2]Universidad Nacional de Trujillo, Perú, Yciezari@unitru.edu.pe

Abstract – This proposal aims to evaluate the efficiency of classification and determination of the maturation conditions of Swiss-type cheese through a prototype system using NIR spectroscopy and artificial intelligence. The goal is to create an economical and scalable system to improve the production capabilities of cheese companies. The work is divided into three phases: (a) the development of logical sequences for classification and quality determination; (b) the development of the prototype system at the hardware and software level that will allow data collection in a cheese company, obtain NIR profiles, and control actuators in a classification system; and (c) the comparison of results and classification. The construction and operation of the portable NIR system for cheese maturation evaluation were achieved. It was observed that classifying the cheeses based on maturation days is feasible, with the most determining wavelength found between 1000 nm and 1450 nm, which is related to the presence of fatty acids in the samples. Therefore, low-cost equipment like the one designed and built can be used in industry, and since this technology does not require a complex sample process, it can be widely used in the cheese industry.

Keywords – NIR, cheese, cheese maturation, industry 4.0, prototype.

Evaluación de la maduración de queso tipo suizo en un sistema prototipo de espectroscopía NIR e inteligencia artificial

Jimy Oblitas-Cruz[1]; Yuleyci Cieza-Rimarachin[2]; José Cruz-Oblitas[3]
[1,3]Universidad Privada del Norte, Perú, *jimy.oblitas@upn.edu.pe, n00305217@upn.pe*
[2]Universidad Nacional de Trujillo, Perú, Yciezari@unitru.edu.pe

***Resumen*– La presente propuesta tiene como objetivo evaluar la eficiencia en la clasificación y determinación de las condiciones de maduración de queso tipo suizo a través de un sistema prototipo de clasificación mediante espectroscopia NIR e inteligencia artificial; a fin de generar un sistema económico y escalable para el mejoramiento de las capacidades de producción de las empresas queseras. La labor se divide en tres fases: (a) El desarrollo de secuencias lógicas de clasificación y determinación de la calidad, (b) Desarrollo del sistema prototipo a nivel de hardware y software que permitirá tomar datos en una empresa quesera, obtener perfiles NIR y accionar actuadores de un sistema de clasificación y (c) Comparación de resultados y clasificación. Se logro la construcción y operación del sistema portátil NIR para la evaluación de la maduración de quesos, observándose la factibilidad de la clasificación de los quesos en base a los días de maduración, encontrándose que la longitud de onda mas determinante esta entre 1000 nm y 1450 nm que esta referido a la presencia de ácidos grasos en las muestras, por lo que podemos afirmar que equipos de bajo costo como el diseñado y construido pueden ser usados en la industria y ya que este tipo de tecnología no necesita de un proceso complejo de la muestra puede usarse de manera amplia en la industria quesera..**

Palabras clave—NIR, Queso, maduración de queso, Industria 4.0, prototipo.

I. Introducción

Los quesos madurados son importantes productos premium para el sector lácteo, pero la maduración del queso es un proceso costoso y no completamente controlable o predecible . Durante la maduración, la cuajada se convierte en un queso característico con un sabor y una textura particulares que dependen de la microflora, la calidad de la leche, los pasos del procesamiento industrial y las condiciones de almacenamiento [1]. El sabor y la textura característicos de diferentes quesos de larga maduración están asociados con los productos finales de lipólisis y proteólisis en el queso madurado [2].

La evaluación sensorial destructiva a intervalos regulares se utiliza para determinar la madurez y la preparación para el mercado. Este enfoque consume mucho tiempo y desperdicia material y, por lo tanto, es costoso para el productor. Por lo tanto, se requieren tecnologías rápidas no destructivas para monitorear el proceso de maduración en quesos de maduración prolongada [3].

Existe un gran interés en el uso de técnicas espectroscópicas no destructivas para monitorear la maduración y la calidad del queso, las mediciones e imágenes espectroscópicas tienen un gran potencial en la predicción rápida de la madurez del queso, reemplazando las técnicas de evaluación subjetiva existentes [4], [5]. Durante la última década, se han desarrollado aplicaciones de imágenes hiperespectrales de infrarrojo cercano (NIR-HS) para su uso como herramientas de inspección de calidad y seguridad no destructivas en la industria alimentaria [6].

La revolución tecnológica de la industria (industria 4.0) ha exigido a nivel mundial el desarrollo de métodos analíticos alternativos que sean rápidos y fiables y estén alineados con la sostenibilidad económica y medioambiental [7]. De hecho, la evaluación de datos, en particular de los espectros NIR, sigue siendo un desafío que ralentiza la distribución industrial de los sistemas espectroscópicos. Los espectros de proceso suelen tener formas complejas con señales superpuestas de compuestos individuales [8].

Una imagen NIR es una matriz de datos tridimensionales paralelepipédica, a veces denominada hipercubo. Dos de las dimensiones son índices de píxeles y la tercera dimensión es un índice de longitud de onda. Cada píxel en el hipercubo es un espectro completo, por ejemplo, 256 bandas de longitud de onda de 900 a 2500 nm [9], [10]. Por lo tanto, el procesamiento previo de las imágenes para mejorar la información espectral y preparar los datos para su posterior procesamiento es un paso importante en el desarrollo del modelo. Esta tecnología ha establecido aplicaciones en la industria láctea, permitiendo determinar la composición, calidad y autenticidad de materias primas y productos[11].

Aunque NIR proporciona una rica información molecular, necesita la implementación de análisis multivariante para obtener información útil y relevante, especialmente cuando se trabaja con matrices complejas como los alimentos [12]. La quimiometría con NIR se ha utilizado para estimar la autenticidad de quesos maduros [3], [13]. Por tal motivo el objetivo de la investigación es determinar si existe relación estadísticamente significativa entre la eficacia en la clasificación y la precisión en el seguimiento de la maduración de queso madurado tipo Suizo en un sistema prototipo de clasificación mediante imágenes multiespectrales y diferentes métodos de inteligencia artificial

II. METODOLOGÍA

A. Muestras

Para las pruebas se utilizaron muestras de queso tipo suizo, el proceso se llevo a cabo en una planta industrial de procesamiento, donde se separaron 20 Kg de queso antes del proceso de maduración, las muestras se dividieron en paquetes de 100 g envasados al vacío y a temperatura de 15° C.

B. Desarrollo de prototipo

La figura 1 muestra el esquema de desarrollo dividos en 3 etapas: (a) El desarrollo de secuencias lógicas de clasificación y determinación de la calidad, (b) Desarrollo del sistema prototipo y (c) Comparación de resultados y clasificación.

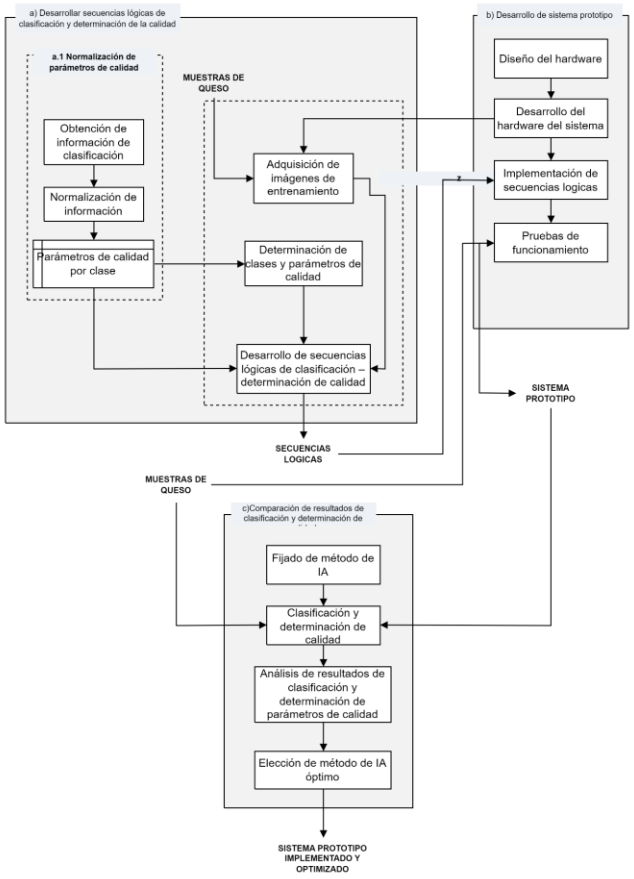


Fig.1 Esquema de la investigación

C. Prototipo diseñado

Este prototipo es en esencia un sistema miniaturizado para la extracción y procesamiento de perfiles espectrales en el rango NIR, 900 a 1700 nm usando un sensor TIDA-00554, Texas instrument [14], el cual se puede observar en la Figura 2. El diseño de referencia del espectrómetro NIR ultramóvil DLP utiliza tecnología DLP junto con un detector de In GaAs de un solo elemento para ofrecer mediciones de alto rendimiento en un formato portátil que es más asequible que las arquitecturas que utilizan un costoso detector de matriz de In GaAs o frágiles arquitecturas de rejilla giratoria. El espectrómetro es un espectrómetro basado en procesamiento digital de luz (DLP) con un dispositivo de microespejos digitales (DMD) para la selección de longitud de onda y un detector de punto único [15]. Las mediciones de longitudes de onda seleccionadas del rango admitido (900–1700 nm para este dispositivo) se pueden realizar utilizando esta técnica. Cada dato de medición incluye 228 valores de reflectancia (la resolución se puede cambiar) tomados a intervalos iguales del rango de longitud de onda de luz específico admitido por el espectrómetro NIR.

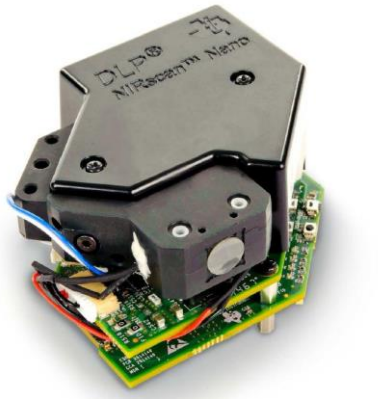


Fig.2 Sensor TIDA-00554, Texas instrument

El procesamiento y control de los elementos del sistema se realizará mediante una placa Raspberry pi14 cuyo software de control se implementará en Phyton, usando las librerías de procesamiento de señales y Deep learning que a continuación se señalan:

- Scikit Learn - Análisis de datos tanto en predicción como clasificación usando modelos de
- inteligencia artificial.
- Numpy - Manejo de matrices, arreglos y listas.
- Pandas - Lectura y organización de DataSet's.
- Tkinter - Creación de Interfaces Graficas.
- Matplotlib - Ploteo de gráficas
- OS - Manejo de directorios de archivos.

Finalmente, la alimentación del sistema se basará en una batería de 7.4 voltios a fin de hacer que el sistema sea portátil. El siguiente paso, la construcción del prototipo se desarrollará en base al esquema inicial mostrado en la figura 3.

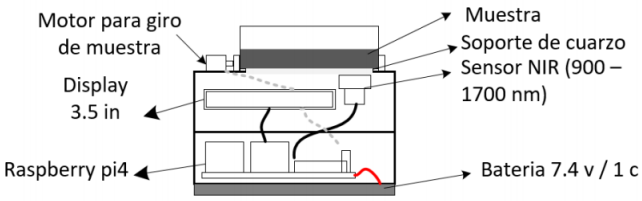


Fig.3 Esquema base del prototipo

El software que controlara el prototipo contara con dos funciones:

- Control de individualizador, adquisición de imagen y actuadores de clasificador; estos actuadores se accionan de acuerdo a las clases determinadas por el análisis de las imágenes.
- Análisis de imágenes y determinación de calidad. Estas secuencias desarrolladas en el paso anterior se implementan en este software unificando el sistema.

Pruebas de funcionamiento. Las pruebas de funcionamiento se realizaron para probar la correcta interconexión entre los diferentes elementos del hardware y el software, así como la velocidad de respuesta y actuación.

Las pruebas de funcionamiento se realizarán con materiales previamente seleccionados de queso y adquiridos a las empresas mencionadas en la sección a de esta metodología.

D. Comparación de resultados de clasificación y determinación de calidad.

Esta etapa permitirá establecer los mejores métodos de clasificación, tanto por la robustez del método como por la velocidad y consumo de recurso de cómputo.

Establecidas las combinaciones de métodos de inteligencia artificial se procede a clasificar y determinar las clases estándar de queso.

III. RESULTADOS

A. Prototipo diseñado

El diseño del hardware del sistema prototipo incluye la selección e integración de los componentes electrónicos del sistema y la construcción física. El esquema final del prototipo diseñado se muestra en la figura 4, la carcasa se imprimió en una impresora 3 D.

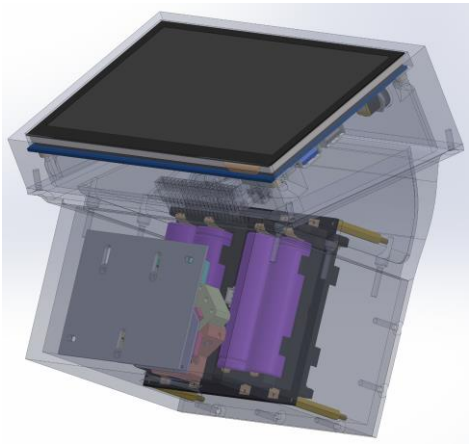


Fig.4 Esquema final del prototipo

De la misma forma, el software de control del equipo fue programado en Python y se probó en conjunto con el prototipo para poder tener certeza de su funcionamiento adecuado. El software consta de dos capas, la figura 5 muestra la pantalla de inicio donde se incluyo ajustes como conexión al wifi, verificación de datos guardados entre otras aplicaciones. El modulo de medición se muestra en la Figura 6 donde se incluye el nombre de la muestra y un esquema inicial de los datos tomados además de otras funciones fáciles de usar para el nivel de aplicación.



Fig.5 Pantalla de inicio

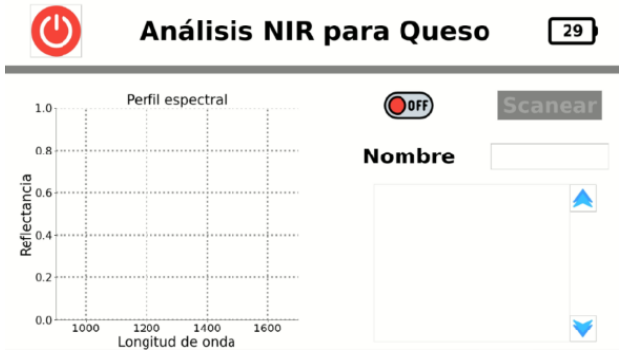


Fig.6 Pantalla de medición

La figura 7 muestra el equipo en su forma definitiva y se realizó pruebas preliminares para poder ver la robustez en su uso.



Fig.7 Prototipo final

B. Análisis con prototipo

Se analizaron las muestras durante el proceso de maduración del queso del día 0 al día 33 (día 1, día 4, día 8, día 12, día 19, día 26 y día 33), cada muestra se evaluó 9 veces, la figura 8 muestra los espectros generados en esta etapa, el sensor midió adecuadamente desde los 920 nm a 1750 nm aproximadamente.

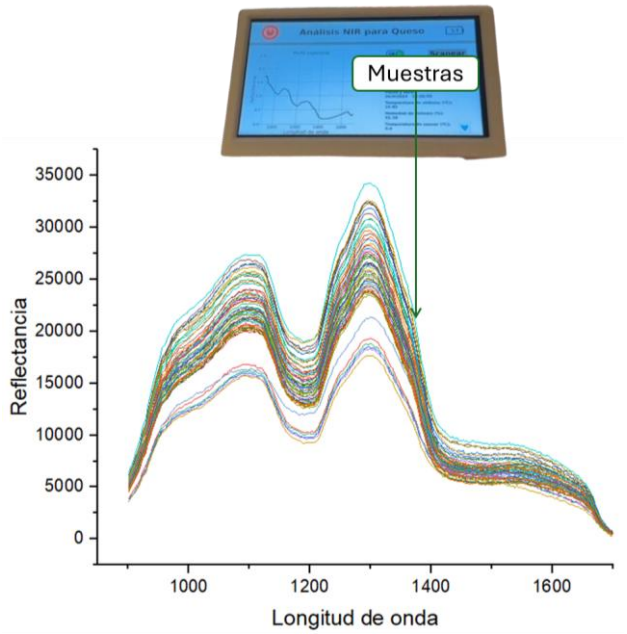


Fig.8 Espectros medidos con equipo prototipo

La forma de los espectros de queso es similar a otros reportados por la literatura con equipos portátiles [16], [17], esto muestra que se puede adaptar tecnología NIR a bajo coste para el sector Empresarial quesero.

C. Análisis de datos y comparación

Se realizó un análisis con un colorímetro de sólidos para ver si se perciben cambios en el espectro visible, las medidas se dieron en la escala Cielab, los valores se muestran en la figura 9 (valor L), figura 10 (valor a) y Figura 11 (valor b)

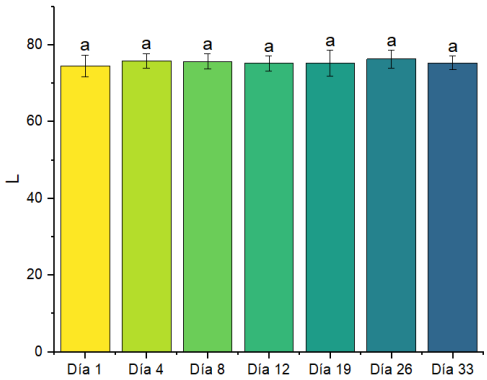


Fig.9 Escala “L” para los día de evaluación

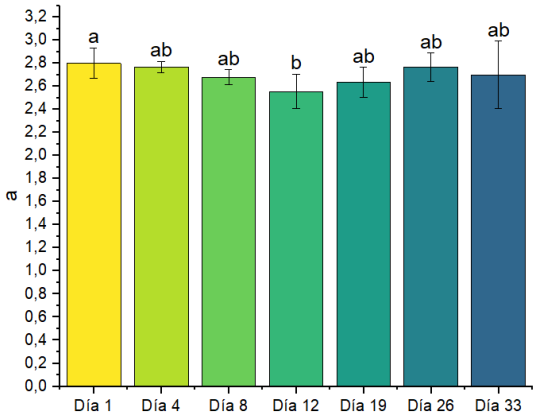


Fig.10 Escala “a” para los día de evaluación

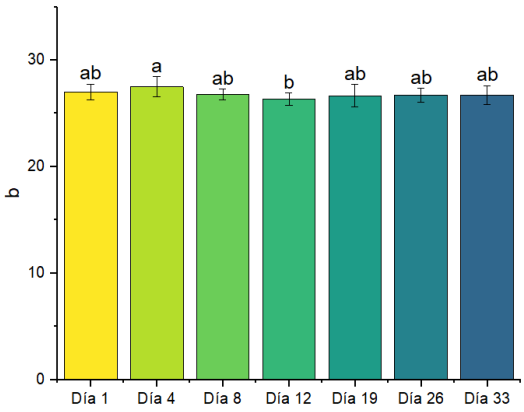


Fig.11 Escala “b” para los días de evaluación

Los valores en la parte superior de las figuras 9, figura 10 y figura 11 corresponde a un análisis de Tukey realizado, donde de manera general se observa que la escala CIELAB una de las más usadas en la industria de alimentos no muestra mucha diferenciación, siendo esto un inconveniente para el seguimiento del proceso de maduración de queso.

Al generar un promedio de los valores espectrales NIR del equipo prototipo se observan que el sensor es bastante sensible en el rango de 1000 nm a 1500 nm, de acuerdo con Frank [18], este rango está asociado a características de cambios en la grasa y caseína (~1200 nm) y de absorción de agua en quesos (~1450 nm).

Esto muestra que el equipo prototipo generado tiene alto potencial para la tarea para la cual fue diseñada.

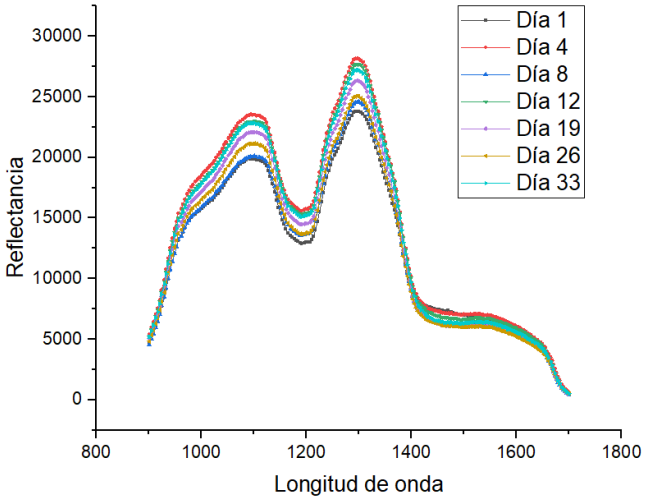


Fig. 12 Espectros promedios de muestras de queso

Se realizó un análisis multivariado para ver la factibilidad de discriminación en base a los espectros NIR tomados con el equipo prototipo, para ello se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando espectro completo (900–1700 nm) preprocesado con suavizado SG. La representación bidimensional de las puntuaciones PC1 y PC2 se muestra en la figura 13, la cual permitió observar una separación de grupos entre las muestras tomadas en los diferentes días, los datos se dispersaron en la parte negativa y positiva de PC1 y PC2. Para los diferentes días de procesado de quesos es posible observar una tendencia de separación mostrada en las elipses generadas en la Figura 13.

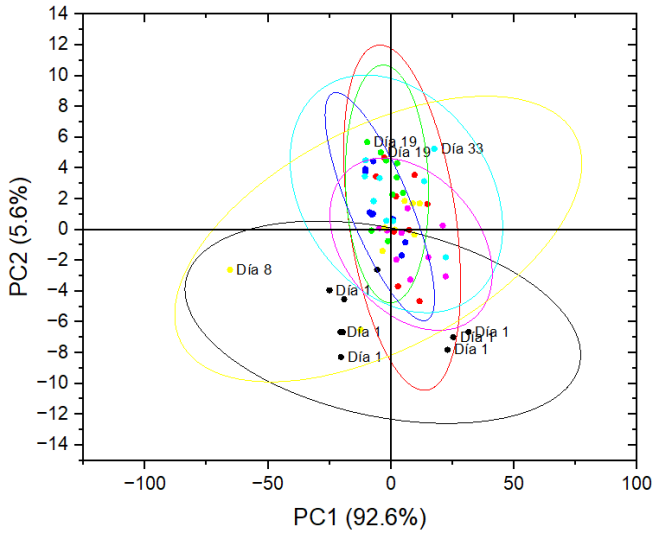


Fig. 13 PCA

En este estudio no se realizó un análisis mas profundo quimiométrico, ya que el objetivo fue probar el prototipo generado y su potencial de uso. Pero de acuerdo con diferentes autores la selección de la longitud de onda adecuada puede mejorar y aumentar la precisión de la clasificación del estadio de maduración de los quesos [19], [20]. En nuestro caso se podría realizar un análisis entre los 1000 nm y 1450 nm para mejorar el nivel de precisión del análisis de componentes principales, la información por debajo de 1000 nm debería eliminarse por presentar poca información química relevante y la superior a 1450 tiene dificultades en analizarse, y a estudios previos como el Medeiros [7] manifiesta que en este rango existe una fuerte absorción en longitudes de onda asociadas a la presencia de agua y puede interferir en la detección de otra información química presente en los espectros relevantes.

IV. Conclusiones

Se logro la construcción y operación de un sistema portátil NIR para la evaluación de la maduración de quesos, observándose la factibilidad de la clasificación de los quesos en base a los días de maduración, encontrándose que la longitud de onda más determinante esta entre 1000 nm y 1450 nm que esta referido a la presencia de ácidos grasos en las muestras, por lo que podemos afirmar que equipos de bajo costo como el diseñado y construido pueden ser usados en la industria y ya que este tipo de tecnología no necesita de un proceso complejo de la muestra puede usarse de manera amplia en la industria quesera. Las pruebas se realizaron con un tipo de queso, pero la potencialidad del equipo pueda generar más módulos para quesos de diferentes tipos. Es necesario realizar pruebas en las mismas empresas para mejorar el diseño del software en base del entorno del usuario final para mejorar su uso

Referencias

[1] H. Priyashantha *et al.*, «Use of near-infrared hyperspectral (NIR-HS) imaging to visualize and model the maturity of long-ripening hard cheeses», *Journal of Food Engineering*, vol. 264, p. 109687, ene. 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109687.

[2] T. Lei y D.-W. Sun, «Developments of nondestructive techniques for evaluating quality attributes of cheeses: A review», *Trends in Food Science & Technology*, vol. 88, pp. 527-542, jun. 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.013.

[3] S. Currò, C. L. Manuelian, M. Penasa, M. Cassandro, y M. De Marchi, «Technical note: Feasibility of near infrared transmittance spectroscopy to predict cheese ripeness», *Journal of Dairy Science*, vol. 100, n.º 11, pp. 8759-8763, nov. 2017, doi: 10.3168/jds.2017-13001.

[4] C. J. Coker, R. A. Crawford, K. A. Johnston, H. Singh, y L. K. Creamer, «Towards the classification of cheese variety and maturity on the basis of statistical analysis of proteolysis data—a review», *International Dairy Journal*, vol. 15, n.º 6, pp. 631-643, jun. 2005, doi: 10.1016/j.idairyj.2004.10.011.

[5] H. Kraggerud, T. Næs, y R. K. Abrahamsen, «Prediction of sensory quality of cheese during ripening from chemical and spectroscopy measurements», *International Dairy Journal*, vol. 34, n.º 1, pp. 6-18, ene. 2014, doi: 10.1016/j.idairyj.2013.07.008.

[6] L. Darnay, F. Králik, G. Oros, Á. Koncz, y F. Firtha, «Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging», *Journal of Food Engineering*, vol. 196, pp. 123-129, mar. 2017, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.020.

[7] M. L. da S. Medeiros, A. Freitas Lima, M. Correia Gonçalves, H. Teixeira Godoy, y D. Fernandes Barbin, «Portable near-infrared (NIR)

spectrometer and chemometrics for rapid identification of butter cheese adulteration», *Food Chemistry*, vol. 425, p. 136461, nov. 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2023.136461.

[8] A. Bogomolov *et al.*, «Development and testing of mid-infrared sensors for in-line process monitoring in biotechnology», *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 221, pp. 1601-1610, dic. 2015, doi: 10.1016/j.snb.2015.07.118.

[9] J. B. Johnson, A. El Orche, J. S. Mani, A. Aït-Kaddour, K. B. Walsh, y M. Naiker, «Prediction of Phytochemical Constituents in Cayenne Pepper Using MIR and NIR Spectroscopy», *Applied Sciences*, vol. 13, n.º 8, Art. n.º 8, ene. 2023, doi: 10.3390/app13085143.

[10] J. U. Porep, D. R. Kammerer, y R. Carle, «On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production», *Trends in Food Science & Technology*, vol. 46, n.º 2, Part A, pp. 211-230, dic. 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.10.002.

[11] J. P. Hebling e Tavares, M. L. da Silva Medeiros, y D. F. Barbin, «Near-infrared techniques for fraud detection in dairy products: A review», *Journal of Food Science*, vol. 87, n.º 5, pp. 1943-1960, may 2022, doi: 10.1111/1750-3841.16143.

[12] J. Oblitas *et al.*, «The Use of Correlation, Association and Regression Techniques for Analyzing Processes and Food Products», Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering. Accedido: 15 de octubre de 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.taylorfrancis.com/

[13] M. Alinovi, G. Mucchetti, y F. Tidona, «Application of NIR spectroscopy and image analysis for the characterisation of grated Parmigiano-Reggiano cheese», *International Dairy Journal*, vol. 92, pp. 50-58, may 2019, doi: 10.1016/j.idairyj.2019.01.010.

[14] «TIDA-00554 reference design | TI.com». Accedido: 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ti.com/tool/TIDA-00554#design-products

[15] M. Özkan *et al.*, «Implementation of an early warning system with hyperspectral imaging combined with deep learning model for chlorine in refuse derived fuels», *Waste Management*, vol. 142, pp. 111-119, abr. 2022, doi: 10.1016/j.wasman.2022.02.010.

[16] M. G. Reis, M. Agnew, N. Jacob, y M. M. Reis, «Comparative evaluation of miniaturized and conventional NIR spectrophotometer for estimation of fatty acids in cheeses», *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 279, p. 121433, oct. 2022, doi: 10.1016/j.saa.2022.121433.

[17] H. Patel, V. Aru, K. M. Sørensen, y S. B. Engelsen, «Towards on-line cheese monitoring: Exploration of semi-hard cheeses using NIR and 1H NMR spectroscopy», *Food Chemistry*, vol. 454, p. 139786, oct. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.139786.

[18] J. F. Frank y G. S. Birth, «Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy to Cheese Analysis», *Journal of Dairy Science*, vol. 65, n.º 7, pp. 1110-1116, jul. 1982, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(82)82319-9.

[19] N. Vásquez, C. Magán, J. Oblitas, T. Chuquizuta, H. Avila-George, y W. Castro, «Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles», *Journal of Food Engineering*, vol. 219, pp. 8-15, feb. 2018, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.09.008.

[20] R. Calvini, S. Michelini, V. Pizzamiglio, G. Foca, y A. Ulrici, «Evaluation of the effect of factors related to preparation and composition of grated Parmigiano Reggiano cheese using NIR hyperspectral imaging», *Food Control*, vol. 131, p. 108412, ene. 2022, doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108412.