Inicio
Investigadores
Resumen gráfico
Descripción
Objetivos
Marco conceptual
Resultados
Agradecimientos

Caracterización de huella espectral de biopolímeros y matrices biopolímericas asociadas con alimentos y productos agrícolas mediante “functionally-enhanced derivative spectroscopy (FEDS)”

Financiación

- Convocatoria 891 – 80740 - Programa de Estancias Postdoctorales en Entidades del SNCTel 2020 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias).

PDF

Grupos de Investigación

Grupo de Investigación en Ciencias con Aplicaciones Tecnológicas (GI-CAT)
Departamento de Química
Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Universidad del Valle, Cali - Colombia

Visitar Gruplac

Mindtech Research Group (Mindtech-RG)
Centro de Investigación y Desarrollo Mindtech
Mindtech s.a.s. (Montería/Barranquilla, Colombia)

Visitar Gruplac

Citación

Palacio D.A., Melendrez M., Combatt E.M, Palencia M, Chamorro A. caracterización de huella espectral de biopolímeros y matrices biopolímericas asociadas con alimentos y productos agrícolas mediante “functionally-enhanced derivative spectroscopy (FEDS)”. Proyecto 80740, Mindtech s.a.s., Córdoba (Colombia). AFICAT (2022). Doi: 10.34294/aficat.22.08.006

Investigadores

Dr. Manuel Palencia Luna

Químico de la Universidad de Córdoba (Colombia) y Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción (Chile).
Profesor Titular del Departamento de Química de la Universidad del Valle (Colombia), adscrito al área de Fisicoquímica.

Google Scholar

Dr. Daniel Andres Palacio Badel

Químico de la Universidad de Córdoba (Colombia) y Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción (Chile).

Google Scholar

Dr. Enrique Miguel Combatt Caballero

Ingeniero Agrónomo y Especialista en Manejo de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba (Colombia), Magíster en Agronomía con énfasis en suelos de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira (Colombia), y Doctor en Agronomía con énfasis en suelos y nutrición vegetal de la Universidad Federal de Viçosa (Brasil).
Profesor Título del Departamento de Ingeniería Agrícola y Desarrollo Rural de la Universidad de Córdoba (Montería).

Google Scholar

Dr. Manuel Francisco Melendrez Castro

Químico de la Universidad de Córdoba (Colombia) y Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción (Chile).
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad de Concepción (Chile).

CvLac

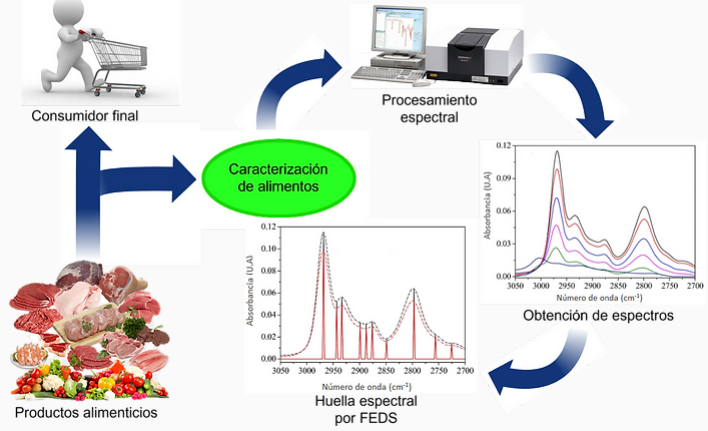
Dr. Andrés Felipe Chamorro Rengifo

Químico de la Universidad del Valle (Colombia) y Doctor en Química de la Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil).
Profesor hora catedra del Departamento de química, Universidad del Valle (Colombia).

CvLac

Caracterización de huella espectral de biopolímeros y matrices biopolímericas asociadas con alimentos y productos agrícolas mediante “functionally-enhanced derivative spectroscopy (FEDS)”

Resumen gráfico



Descripción

PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

La demanda de alimentos aptos para el consumo humano ha generado una exigencia en cuanto a los ajustes reglamentarios, en los cuales la fabricación de los alimentos debe cumplir con condiciones adecuadas en toda la cadena de producción, ha desarrollado un creciente interés en el desarrollo de métodos eficientes para el seguimiento de los productos alimenticios a fin de preservar su calidad, seguridad y autenticidad de los alimentos, bien sea en cuanto a su valor nutritivo y la no adulteración, cumpliendo las normas establecidas, garantizando que su manipulación y comercialización sean apropiadas, obteniendo los beneficios y a la vez, evitando la adición de sustancias de baja calidad que repercutan en potenciales problemas de salud del consumidor final. [1-2]

En ese sentido, se requiere de métodos analíticos precisos, reproducibles y altamente selectivos hacia la caracterización de analitos objetivos, que impliquen una implementación rápida, fácil y económica. Distintas investigaciones, han abordado el tema, donde se han propuesto una variedad de métodos para suplir esta necesidad, donde la detección de trazas de especies en matrices reales, que en general, son bastante complejas debido a la cantidad y variabilidad en cuanto a la composición de los biopolímeros y las matrices poliméricas asociadas a un producto alimenticio, lo que en general dificulta su caracterización. [3]

Entre los métodos empleados se tienen la identificación tradicional, que consiste en la evaluación sensorial por morfología, color, olor y textura de las materias primas asociadas a los alimentos, este método resulta ser simple y de bajo costo, sin embargo, su precisión no es confiable y rara vez son útiles para productos altamente procesados debido a que pueden no presentar características observables. Otros métodos químicos y bioquímicos han sido empleados, como procesos que incluyen técnicas basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la cual es una técnica que permite discriminar un ADN o ARN específico dentro de una matriz compleja, pese a que permite la detección de especies, presenta dificultades en cuanto al tiempo y valor económico de su implementación. [4-5]

Por otra parte, los métodos espectroscópicos hacen parte de las herramientas analíticas disponibles a lo largo de la cadena alimentaria para verificar la naturaleza de los alimentos, estos ofrecen una alta sensibilidad, rapidez y simplicidad en su aplicación, con los cuales ha sido posible detectar adulteraciones en la composición de los alimentos. Algunos de estos implementan metodologías no destructivas, que no generan un deterioro en las muestras. Entre estos, destacan la espectroscopía UV-Vis, de fluorescencia, de Raman, por infrarrojo, entre otros, los cuales permiten obtener espectros que se pueden utilizar como un perfil especifico de una matriz, proporcionando una huella espectral representando la composición química de alimentos a fin de diferenciar de alimentos adulterados. [6]

Esta diferenciación se ha llevado a cabo por medio de métodos quimiométricos o algoritmos que permiten la manipulación de una gran cantidad de datos para realizar una caracterización detallada de las distintas matrices complejas de los alimentos y demás productos agrícolas. [7]

Dicha complejidad aumenta debido a las limitaciones instrumentales, como en la espectroscopia de infrarrojo medio (MIR), en la cual la información se puede ver afectada por la resolución, la relación señal-ruido o los fenómenos físicos asociados a la medición, que en conjunto pueden distorsionar la información produciendo un solapamiento entre las bandas asociadas a las vibraciones de los enlaces de las moléculas. Por lo cual, se han empleado distintas metodologías matemáticas como la derivatización y deconvolución por transformada de Foureir. [8] En este contexto, la espectroscopia derivada funcionalmente mejorada (FEDS por sus siglas en ingles), surge como un método simple y de fácil implementación que permite el desdoblamiento de bandas, de tal manera que se simplifica el espectro obteniendo un nuevo espectro con una posición y tamaño de los picos espectrales más precisos y bien definidos, por medio de un conjunto de transformaciones funcionales. [9-10]

Por todo lo anterior, ¿Será posible determinar la huella espectral de biopolímeros y matrices biopolímeros asociadas a alimentos y productos agrícolas mediante métodos espectroscópicos y el empleo de FEDS?

Bibliografía

[1] M. Esteki, B. Farajmand, Y. Kolahderazi, J. S. Gandara, “Chromatographic Fingerprinting with Multivariate Data Analysis for Detection and Quantification of Apricot Kernel in Almond Powder”, Food Anal Methods, vol 10, pp. 3312–3320, Apr. 2017, doi: 10.1007/s12161-017-0903-5.

[2] P. D. Georgios, S. Aristidis, F.C. Tsagkaris, B. Vladimir, A.C. Georgiou,” Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches”, TrAC Trends in Analytical Chemistry, vol 85, pp 123-132, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.trac.2016.02.026.

[3] A. Speltini, A. Scalabrini, F. Maraschi, M. Sturini, A. Profumo, “Newest applications of molecularly imprinted polymers for extraction of contaminants from environmental and food matrices: A review”, Analytica Chimica Acta, vol 974, pp. 1-26, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.aca.2017.04.042.

[4] Y. T. Lo, P. C. Shaw, “DNA-based techniques for authentication of processed food and food supplements”, Food Chemistry, vol 240, pp. 767-774, Feb 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.022.

[5] N.Z. Ballin, “Authentication of meat and meat products”, Meat Science, vol 86 no.3, pp. 577-587, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.06.001.

[6] M. Esteki, Z. Shahsavari, J. S. Gandara, “Use of spectroscopic methods in combination with linear discriminant analysis for authentication of food products”, Food Control, vol 91, pp. 100-112, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.foodcont.2018.03.031.

[7] X. Ding, Y. Ni, S. Kokot, “NIR spectroscopy and chemometrics for the discrimination of pure, powdered, purple sweet potatoes and their samples adulterated with the white sweet potato flour”, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol 144, pp. 17-23, May. 2015, doi: 10.1016/j.chemolab.2015.03.004.

[8] A. Otálora, M. Palencia, “Application of functionality-enhanced derivative spectroscopy (FEDS) to the problem of the overlap of spectral signals in binary mixtures: triethylamine-acetone”, Journal of Science with Technological Applications, vol 6, pp. 96-107, May. 2019, doi: 10.34294/j.jsta.19.6.44.

[9] M. Palencia, "Functional transformation of Fourier-transform mid-infrared spectrum for improving spectral specificity by simple algorithm based on wavelet-like functions", Journal of Advanced Research, vol 14, pp. 53-62, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.jare.2018.05.009.

[10] J.A. Ramírez, M. Palencia, E. M. Combatt, "Separation of optical properties for multicomponent samples and determination of spectral similarity indices based on FEDS0 algorithm", Materials Today Communications, vol 33, pp.104528, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.mtcomm.2022.104528.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las huellas espectrales de biopolímeros y matrices biopolímericas asociadas con alimentos y productos agrícolas mediante "Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS)".

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

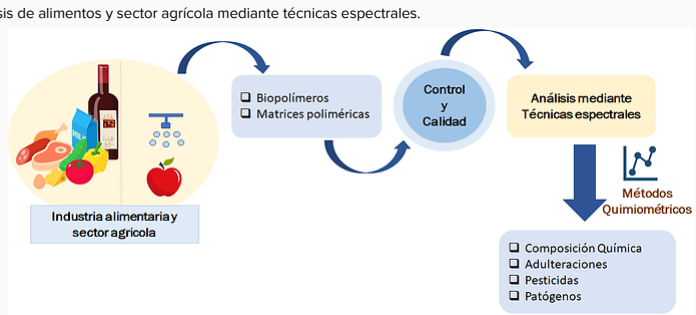
- Construir una base de datos espectral de espectros infrarrojos medio de diferentes biopolímeros y matrices biopoliméricas asociadas con alimentos y productos de interés agrícola.
- Obtener y analizar las huellas espectrales, basadas en la transformación FEDS, de los biopolímeros y matrices biopoliméricas incluidos en la base de datos espectral, y su variabilidad frente a cambios térmicos, químicos y microbiológicos.
- Evaluar la reproducibilidad, robustez, y especificidad de las huellas espectrales basadas en FEDS para los biopolímeros y matrices biopoliméricas incluidos en la base de datos espectral.
- Evaluar la capacidad analítica de las huellas espectrales basadas en FEDS para monitorear cambios en térmicos, químicos y microbiológicos en alimentos y productos agrícolas.

FUNDAMENTOS

TÉCNICAS PARA CARACTERIZACIÓN DE LA HUELLA ESPECTRAL DE BIOPOLÍMEROS Y MATRICES POLIMÉRICAS ASOCIADAS CON ALIMENTOS Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS

El análisis espectral se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para la identificación y análisis de compuestos químicos, debido a la detección rápida, sensible y precisa de los componentes de estudio [1-2]. Por ende, son considerados como una alternativa a los procedimientos analíticos estándar, ya que requieren en algunas ocasiones de la preparación minina o nula de la muestra a analizar. Siendo estos, altamente útiles para monitorear la calidad de los productos provenientes tanto de la industria alimentaria como el sector agrícola [2-3]. Estos análisis, fundamentalmente permiten preservar el control de la seguridad alimentaria, elucidando la composición química, detectando adulteraciones, patógenos, residuos de sustancias toxicas como toxinas, pesticidas en estos, entre otros (Figura 1) [4]. Por ejemplo, han permitido caracterizar los biopolímeros provenientes de diferentes fuentes como la proteína de origen animal y vegetal; polisacáridos y lípidos en agroalimentos [5-6]. Además, la caracterización de materiales compuestos como los aditivos en matrices poliméricas para el recubrimiento de alimentos [7]. Por lo que, para este fin, se han utilizado principalmente técnicas espectrales como la espectroscopia Infrarroja, Raman, Fluorescencia, Ultravioleta-visible y Resonancia Magnética Nuclear combinadas con métodos quimiometrícos [8].

Figura 1. Análisis de alimentos y sector agrícola mediante técnicas espectrales.



Entre las técnicas espectroscópicas más usuales, se encuentra la espectroscopia de infrarrojo, debido a que es una técnica no destructiva, rápida y simple. Esta ha sido útil para determinación e identificación de proteína, grasa y polisacáridos en productos agrícolas. Por ejemplo, en soya [9], gluten presente en diversos cereales [10, 11], almidón, entre otros [12]. Además, análisis proteicos y grasas en productos alimentarios como leche [13] e identificación de bandas espectrales asociadas al colágeno extraído de diferentes subproductos de pescado, pollo, entre otras especies [14]. A su vez, se reportó el grado de metil esterificación de aditivos alimentarios como la pectina proveniente de diferentes frutas y hortalizas mediante esta técnica [15]. Aunque, también es importante mencionar otras de sus aplicaciones fundamentales como la identificación de sustancias adulterantes [16] y factores contaminantes, por ejemplo, patógenos en productos agrícolas [17]. No obstante, este análisis espectral, también ha abarcado la caracterización espectral de matices poliméricas, útiles para el revestimiento alimentos y productos agrícolas [7].

Por otro lado, la espectroscopia raman, es otra técnica ampliamente utilizada para el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de productos agroalimentarios, debido a que es una técnica no destructiva, genera análisis instantáneos y proporciona bandas libres de interferencias del agua intrínseca en estos [3]. Esta ha sido utilizada para la detección de residuos de plaguicidas en productos agrícolas [18]. Además, en la identificación de adulteraciones en almidón [19], detección de patógenos en trigo y sorgo [20], entre otros [21]. Esta técnica, también ha permitido estudiar las bandas espectrales de diferentes alimentos, principalmente la proteína animal, con el fin de evaluar la autenticidad [22], contenido de ácidos grasos [23] y colágeno total en estos [24]. Entre múltiples usos, basados en la control y calidad de la seguridad alimentaria [21]. Por otra parte, otra técnica útil para esta finalidad, es la espectroscopia de fluorescencia, la cual ha permitido monitorear de manera selectiva la calidad de los alimentos mediante los fluoróforos presentes de forma natural. Por ello, se ha utilizado para la caracterización de proteínas en leche y carne, a través del estudio de fluoróforos como el triptófano, tirosina y fenilalanina intrínsecos en estos [8]. Además, permite identificar la cantidad de colágeno y nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) presente en carnes [25]. Así mismo, analizar cambios conformacionales en proteínas vegetales, por ejemplo, el gluten presente en cereales [10].

En cuanto a la espectroscopia Uv-vis, se ha utilizado para evaluar la calidad de diferentes alimentos y productos agrícolas, debido a su bajo costo a compasión de los otros equipos espectrales [26-27]. Sin embargo, su uso es restringido, particularmente por los factores interferentes en el análisis de estas matrices complejas [28]. Por ende, principalmente se ha utilizado para el análisis de grasa y proteína en carne y leche [28]. Además, se ha logrado caracterización del contenido de polifenoles como los taninos presentes en vino [29-30].

Finalmente, la resonancia magnética nuclear, es una técnica potente, puesto que permite la obtener la caracterización estructural y composicional, cuantificación, autentificación y clasificación de los alimentos. No obstante, a pesar de ello, su uso en este campo ha sido limitado, principalmente por su alto costo [31]. Entre sus aplicaciones, por ejemplo, se encuentra la identificación y contenido de esterificación de pectinas en cascaras de mandarina [32], elucidación estructural de taninos en café [33], estudios de proteínas en carnes [8], huevos y leche [34-35]. Además, la evaluación cuantitativa de polisacáridos puros y mezcla de polisacáridos en alimentos [36].

Por lo tanto, las técnicas espectroscópicas junto con métodos multivariantes, son consideradas potencialmente útiles para evaluar la calidad y composición de matrices complejas provenientes de la industria alimentaria y agrícola. No obstante, dependiendo de los constituyentes presentes en estos, estado físico, homogeneidad y demás, se inclina el uso de una técnica espectral en especifica frente a otra.

Bibliografía

[1] S. Mukherjee and A. Gowen, “A review of recent trends in polymer characterization using non-destructive vibrational spectroscopic modalities and chemical imaging”, ACA, vol. 895, pp. 12-34, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.aca.2015.09.006

[2] C. Rodrigues., L. Wedderhoff., A. C. Pedro., N. Amalio., I. De Andrade., H. wamoto., C.W. Isidoro., J. C De Carvalho., C. R. Soccol, “Chapter 5 - Spectral analysis of food materials”, CDBB, pp. 119-147, 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-91158-0.00001-6

[3] A. Nawrocka and J. Lamorska, “Chapter 14-Determination of Food Quality by Using Spectroscopic Methods”, AAR, pp. 347-365, 2013, doi: 10.5772/52722

[4] X. Fu and Y. Ying, “Food Safety Evaluation Based on Near Infrared Spectroscopy and Imaging: A Review”, CRFSN, vol. 56, no. 11, pp. 1913-1924, Aug. 2016, doi: 10.1080/10408398.2013.807418

[5] R. Gheorghita., L. Anchidin-Norocel., R. Filip., M. Dimian., M. Covasa, “Applications of Biopolymers for Drugs and Probiotics Delivery”, Polymers, vol. 13, no. 16, pp. 1-32, Aug. 2021, doi: 10.3390/polym13162729

[6] G. Prabu., S. Muthusamy., B. Selvaganesh., N. Sivarajasekar., K. Rambabu., F. Banat., S. Sivamani., N. Sivakumar., A. Hosseini-Bandegharaei., P. Loke, “Biopolymers and composites: Properties, characterization and their applications in food, medical and pharmaceutical industries”, JECE, vol. 9, no. 4, pp. 1-22, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105322

[7] S. B. Munteanu and C.Vasile, “Vegetable Additives in Food Packaging Polymeric Materials”, Polymers, vol. 12, no. 1, pp. 1-34, 2020, doi: 10.3390/polym12010028

[8] M. Mishra, “Chapter 1: Spectroscopic Techniques for the Analysis of Food Quality, Chemistry, and Function”, ASTFQ, pp. 1-22, 2022, doi: 10.1039/9781839165849-00001

[9] R. Xu.,W. Hu., Y. Zhou., X. Zhang., S. Xu., Q. Guo., P. Qi., L. Chen., X. Yang., F. Zhang., L. Liu., L. Qiu., J. Wang, “Use of near-infrared spectroscopy for the rapid evaluation of soybean [Glycine max (L.) Merri.] water soluble protein content”, MBS, vol. 224, pp. 1-8, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.saa.2019.117400

[10] A. Sadat., M. G Corradini., I. J. Joye, “Molecular spectroscopy to assess protein structures within cereal systems”, COFS, vol. 25, pp. 42-51, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.cofs.2019.02.001

[11] A. Salgó and S. Gergely, “Analysis of wheat grain development using NIR spectroscopy”, JCS, vol. 56, no. 1, pp. 31-38, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.jcs.2012.04.011

[12] T. Hong., J. Y. Yin., S. P Nie., M. Y. Xie, “Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective”, FC, vol. 12, pp. 1-16, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.fochx.2021.100168

[13] H. Mohamed., P. Nagy., J. Agbaba., A. Kamal-Eldina, “Use of near and mid infra-red spectroscopy for analysis of protein, fat, lactose and total solids in raw cow and camel milk”, FC, vol. 334, pp. 1-7, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127436

[14] V. De Melo., C. R Dias., B. A. Marques., R. Coelho., F. T. Duarte., H. M Silva., R. C. Penha., J. Ferreira., R. De Souza., A. L Figueiredo, “Physical, biochemical, densitometric and spectroscopic techniques for characterization collagen from alternative sources: A review based on the sustainable valorization of aquatic by-products”, JMS, vol. 1224, pp. 1-18, Jan 2021, doi: 10.1016/j.molstruc.2020.129023

[15] C. Kyomugasho., S. Christiaens., A. Shpigelman., A. M. Van., M. E. Hendrickx, “FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the degree of methylesterification of pectin in different fruit- and vegetable-based matrices”, FC, vol. 176, pp. 82-90, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.033

[16] A. Unuvar., I. H. Boyaci., S. Yazar., H. Koksel, “Rapid detection of common wheat flour addition to durum wheat flour and pasta using spectroscopic methods and chemometrics”, JCS, vol. 109, pp. 1-7, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jcs.2022.103604

[17] M.Z. Hossain and T. Goto, “Near- and mid-infrared spectroscopy as efficient tools for detection of fungal and mycotoxin contamination in agricultural commodities”, WMJ, vol. 7, no. 4, pp. 507-515, Jan. 2014, doi: 10.3920/WMJ2013.1679

[18] M. Xu, Y. Gao., X. X. Han., B. Zhao, “Detection of Pesticide Residues in Food Using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy: A Review”, JAFC, vol. 65, no.32, pp. 6719-6726, Jul. 2017, doi: 10.1021/acs.jafc.7b02504

[19] V. G Kelis and R. J. Poppi, “Cleaner and faster method to detect adulteration in cassava starch using Raman spectroscopy and one-class support vector machine”, FC, vol. 125, pp. 1-7, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.foodcont.2021.107917

[20] V. Egging., J. Nguyen., D. Kurouski, “Detection and Identification of Fungal Infections in Intact Wheat and Sorghum Grain Using a Hand-Held Raman Spectrometer”, AC, vol 40, no.14, pp. 1-9, Jun. 2018, doi:10.1021/acs.analchem.8b01863

[21] K. Wang., Z. Li., J. Li., H. Lin, “Raman spectroscopic techniques for nondestructive analysis of agri-foods:A state-of-the-art review”, TFST, vol. 118, pp. 490-504, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.10.010

[22] K. M. Nunesa., M.V. O. Andradeb., M. R. Almeidaa., C. Fantinic., M. M. Sena, “Raman spectroscopy and discriminant analysis applied to the detection of frauds in bovine meat by the addition of salts and carrageenan”, MJ, vol. 147, pp. 582-589, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.03.076

[23] B. G. Logan., D. L. Hopkinsa., L. Schmidtked., S. Morrise., S. M. Fowler, “Preliminary investigation into the use of Raman spectroscopy for the verification of Australian grass and grain fed beef”, MS, vol. 160, pp. 1-7, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.107970

[24] Y. Nian., M. Zhaoc., C. P. O'Donnell, G. Downey., J. P. Kerry., Paul Allen, “Assessment of physico-chemical traits related to eating quality of young dairy bull beef at different ageing times using Raman spectroscopy and chemometrics”, FRI, vol. 99, no. 1, pp. 778-789, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.foodres.2017.06.056

[25] B. Wu., K. Dahlberg., X. Gao., J. Smith., J. Bailin, “A Rapid Method Based on Fluorescence Spectroscopy for Meat Spoilage Detection”, IJHSES, vol. 27, no. 3, pp 1-9, Sep. 2018, doi: 10.1142/S0129156418400256

[26] Kusumiyati., Y. Hadiwijaya., I. E. Putri, “Non-destructive classification of fruits based on UV-Vis-NIR spectroscopy and principal component analysis”, JB, vol. 4, no. 1, pp. 89-95, May. 2019, doi: 10.15575/biodjati.v4i1.4389

[27] P. Leder and O. M. Porcu, “The Importance of UV-Vis Spectroscopy: Application in Food Products Characterization”, SJFN, vol. 1, no. 3, pp. 59-62, Jun. 2018, doi: 10.32474/SJFN.2018.01.000111

[28] A.C. Power., J. Chapman., S. Chandra., D. Cozzolino, “Ultraviolet-visible spectroscopy for food quality analysis”, ETFQ, pp. 91-103, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-814217-2.00006-8

[29] A. Philippidis., E. Poulakis., R. Kontzedaki., E. Orfanakis., A. Symianaki., A. Zoumi., M. Velegrakis, “Application of Ultraviolet-Visible Absorption Spectroscopy with Machine Learning Techniques for the Classification of Cretan Wines”, Foods, vol. 10, no. 9, 2021, doi: 10.3390/foods10010009

[30] J. L. Aleixandre and W. du, “The Role of UV-Visible Spectroscopy for Phenolic Compounds Quantification in Winemaking”, FNTSFFB, pp. 1-21, Nov. 2018, doi: 10.5772/intechopen.79550

[31] E. Hatzakis, “Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy in Food Science: A Comprehensive Review”, CRFSFS, vol. 18, pp. 189-220, Nov. 2018, doi: 10.1111/1541-4337.12408

[32] H. Zhang., J. Chen., J. Li., L. Yan., S. Li., X. Ye., D. Liu., T. Ding., R.J. Linhardt., C. Orfila., S. Chen, “Extraction and characterization of RG-I enriched pectic polysaccharides from mandarin citrus peel”, FH, vol. 79, pp. 579-586, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.12.002

[33] J. H. Lowa., W. A. W. A. Rahman., J. Jamaluddina, “Structural elucidation of tannins of spent coffee grounds by CP-MAS 13C NMR and MALDI-TOF MS”, ICP, vol. 69, pp. 456-461, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.001

[34] Q. Qu and L. Jin, “Application of nuclear magnetic resonance in food analysis”, FST, vol. 42, no. 5, pp. 1-14, Jun. 2022, doi: 10.1590/fst.43622

[35] R. Cao., X. Liub., Y. Liub., X. Zhaib., T. Caoc., A. Wangd., Ju Qiu, “Applications of nuclear magnetic resonance spectroscopy to the evaluation of complex food constituents”, FC, vol. 342, no. 3, pp. 1-10, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128258

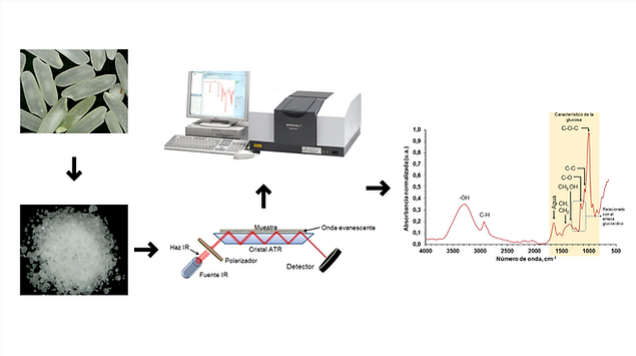
[36] D.W.H. Merkx., Y. Westphala., E. J. J. van Velzena., K.V. Thakoera., N. De Rooa., J. P. M. van Duynhovena, “Quantification of food polysaccharide mixtures by 1H NMR”, CP, vol. 179, pp. 379-385, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.09.074

CARACTERIZACIÓN DE LA HUELLA ESPECTRAL DE BIOPOLÍMEROS Y MATRICES POLIMÉRICAS ASOCIADAS CON ALIMENTOS: ARROZ

Existe un gran interés en la caracterización espectral de alimentos para el control de calidad, con esto se busca la evaluación de la información sobre las variables ambientales que puedan tener relación con la eficiencia en los cultivos. El arroz (Oryza Sativa) es uno de los cultivos más importantes del mundo debido a que es fuente de nutrientes para alrededor de 2 mil millones de personas en el mundo, de esta cifra más de 600 millones dependen del arroz para obtener cerca del 50 % de sus requerimientos nutricionales. Es por ello, que cualquier cambio asociado a la mala calidad de este producto puede poner en peligro la disponibilidad de este alimento cuyas consecuencias afectarían la seguridad alimentaria a nivel mundial [1-2].

Las metodologías convencionales empleadas para la evaluación de la calidad nutricional del arroz se basan generalmente en métodos químicos. Dichos métodos pueden variar dependiendo del tipo de nutriente a determinar. Para la cuantificación del contenido de carbohidratos (almidón) se opta por el método de amiloglucosidasa/α-amilasa [3]. Por otro lado, la determinación de proteínas se basa en la aplicación de técnicas convencionales como Kjeldahl [4]. Finalmente, para la determinación de contenido de ácidos grasos se opta por los métodos de extracción como Soxhlet, fluidos supercríticos y extracción por microondas [5]. Todos estos métodos representan un gran costo debido al uso de reactivos químicos costosos y su aplicación resulta ser muy laboriosa. Es por esto, que se ha propuesto el empleo de métodos más fáciles de aplicar como la espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), la espectroscopia UV-vis y fluorescencia que implican menos tiempo de análisis y preparación de la muestra dado son métodos poco destructivos [2-6]. El desarrollo en técnicas instrumentales que permitan la evaluación de la frescura y calidad del arroz puede proveer múltiples aplicaciones a los productores, distribuidores, comerciantes y consumidores de este alimento es por ello por lo que es de gran importancia potenciar el empleo de este tipo de técnicas que provean información fácil de interpretar y a menores costos con respecto a las técnicas convencionales [7].

Figura 2. Diagrama de caracterización para el arroz mediante ATR-FTIR.



De las distintas técnicas de caracterización espectral que se han descrito se ha demostrado que la aplicación de la espectroscopia FTIR para el control de calidad de alimentos, en general resulta una herramienta poderosa para el análisis de materiales de origen biológico [8]. Para el caso específico del arroz, este resulta de gran utilidad debido al poco tratamiento que se le da a la muestra y a la información completa que suministra esta técnica dado que permite un análisis sobre el contenido de proteína, carbohidratos y lípidos en el grano [7]. El muestreo se basa básicamente en la pulverización de una pequeña cantidad de arroz, para el caso de los espectrómetros FTIR acoplados a la técnica reflectancia total atenuada (ATR, por sus siglas en inglés) el análisis resulta ser muy simple dado que el arroz molido se encuentra en contacto directo con el cristal de ATR, generalmente de diamante, y los espectros ATR-FTIR se obtienen a partir de la absorción de la onda evanescente (Figura 2) [2]. Sin embargo, la técnica presenta algunas desventajas debido a la poca resolución de los espectros en muestras complejas como el arroz, en ese sentido es imperativo el empleo de técnicas de procesamiento de los datos suministrados por el espectrómetro para correcto tratamiento como en el caso de la aplicación del métodos que permitan mejorar la resolución del espectro como: la deconvolución por transformada de Fourier, diferenciación espectral o la aplicación del algoritmo Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS) con dichos arreglos matemáticos se busca evaluar la existencia de picos superpuesto u ocultos que permitan proveer una mejor interpretación del espectro y de este modo entregar información confiable sobre la alimento que permita su fácil validación [9].

Bibliografía

[1] P. Kolar and H. Jin, "Baseline Characterization Data for Raw Rice Husk". Data in Brief, vol. 25, p 104219, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.dib.2019.104219

[2] L. Wei, F. Ma, C. Du, "Application of FTIR-PAS in Rapid Assessment of Rice Quality under Climate Change Conditions". Foods, vol. 10, no. 1, p 159, Jan. 2021, doi: 10.3390/foods10010159

[3] AACC International, "Total Starch Assay Procedure (Amyloglucosidase/α-Amylase Method)". In AACC Approved Methods of Analysis, 11th ed.; pp. 76-13.01, 2018.

[4] H. Cintya, E. D. Putra, M. Muhammad, C. Pranata, H. D. Syahputra, "Analysis of Carbohydrate, Protein and Fat Levels Using Various Type Rice with Different Cooking Process". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 977, no. 1, pp. 012079, Nov. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/977/1/012079

[5] M. Khoei and F. Chekin, "The Ultrasound-Assisted Aqueous Extraction of Rice Bran Oil", Food Chemistry, vol. 194, pp. 503-507, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.068

[6] Z. Ozbekova and A. Kulmyrzaev, "Study of Moisture Content and Water Activity of Rice Using Fluorescence Spectroscopy and Multivariate Analysis". Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, vol. 223, p 117357, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.saa.2019.117357

[7] N. Fazeli, A. H. Afkari, M. Safi, "Prediction of Amylose Content, Protein Content, Breakdown, and Setback Viscosity of Kadus Rice and Its Flour by near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Analysis", Journal of Food Processing and Preservation, vol. 45, no. 1, nov. 2020, doi: 10.1111/jfpp.15069

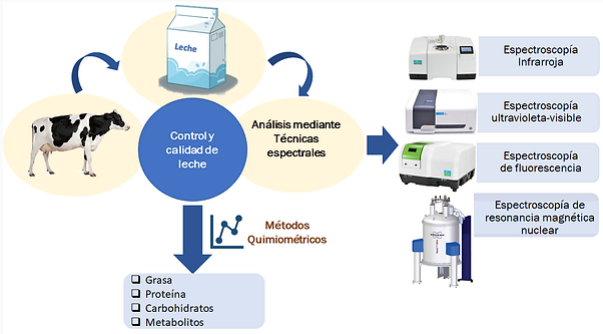
[8] M. J. Baker, J. Trevisan, P. Bassan, R, Bhargava, H. J. Butler, K. M. Dorling, P. R. Fielden, S. W. Fogarty, N. J. Fullwood, K. A. Heys, C. Hughes, P. Lasch, P. L. Martin-Hirsch, B, Obinaju, G. D. Sockalingum, J. Sulé-Suso, R. J. Strong, M. J. Walsh, B. R. Wood, P. Gardner, F. L. Martin, "Using Fourier Transform IR Spectroscopy to Analyze Biological Materials". Nature Protocols, vol. 9, no. 8, pp. 1771–1791, Jul. 2014, doi: 10.1038/nprot.2014.110

[9] M. Palencia, "Functional Transformation of Fourier-Transform Mid-Infrared Spectrum for Improving Spectral Specificity by Simple Algorithm Based on Wavelet-like Functions", Journal of Advanced Research, vol. 14, pp. 53–62, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.jare.2018.05.009

CARACTERIZACIÓN DE LA HUELLA ESPECTRAL DE BIOPOLÍMEROS Y MATRICES POLIMÉRICAS ASOCIADAS CON ALIMENTOS: LECHE BOVINA

La leche bovina, es considerada un alimento de alto consumo, debido a sus características nutricionales. Entre sus principales constituyentes de interés, se encuentran proteínas, grasas y lactosa [1]. Por ello, normalmente estos se monitorean, con la finalidad de mantener su calidad e inocuidad alimentaria para el procesamiento comercial de esta [2]. Para la determinación de cada uno de sus componentes, existen tanto procesos físicos como químicos. Sin embargo, estos son extensos, susceptibles a interferencias, requieren de reactivos costosos y nocivos a gran escala [3]. Por lo que, frente a ello, se ha destacado en este aspecto, principalmente el uso de técnicas espectroscópicas como la espectroscopia infrarroja, ultravioleta-visible, fluorescencia y resonancia magnética nuclear, debido a su fácil operación, sensibilidad y rentabilidad a gran escala, además de la capacidad de análisis simultáneos en algunos casos (Figura 3) [2].

Figura 3. Análisis de leche mediante las principales técnicas espectrales.



La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), es una técnica no destructiva, potencial para el análisis de alimentos, puesto que se caracteriza por su alto rendimiento, bajo costo y rápida caracterización. Para el análisis cualitativo como cuantitativo de leche, específicamente de proteína, grasa, lactosa y sólidos totales, han sido útiles las regiones del infrarrojo medio (MIR) y cercano (NIR). Sin embargo, la alta absorción de radiación del agua intrínseca en estas regiones y la falta de homogeneidad de la muestra, asociada a las micelas de caseína y glóbulos de grasa presente en esta, generan interferencias espectrales, las cuales obstruyen los análisis [4]. Por ello, se requiere un pretatamiento de los datos espectrales, herramientas estadísticas y quimiométricas, con la finalidad de estimar la concentración de los analitos de interés [5]. Por ejemplo, se han utilizado modelos de calibración y análisis discriminante, principalmente mínimos cuadrados parciales (PLS). Donde, este análisis multivariado, ha permitido determinar el contenido de lactosa, proteína y grasa [6-7]. Además, a través de diferentes modelos quimiométricos se ha podido discriminar e identificar sustancias adulterantes en leche bovina como agua, sacarosa, suero de queso, urea, melanina, entre otros [8-9-10]. No obstante, la espectroscopia de correlación infrarroja bidimensional (2D), confiere caracterizaciones más completas que la espectroscopia convencional, ya que permite discriminar constituyentes similares en una muestra compleja, debido a la alta resolución espectral y selectividad [11].

Otra técnica muy común para la caracterización de grasa y proteína en leche es la espectroscopia uv-vis. Sin embargo, los análisis normalmente requieren mayor tiempo a comparación de los realizados con espectroscopia infrarroja, debido a que es necesario el pretratamiento de la muestra para aislar los componentes de estudio y llevar al cabo, su posterior análisis. Este paso, además es fundamental para disminuir los fenómenos de dispersión de luz, asociados a los glóbulos de grasa, micelas de caseína y proteínas en suero. Esto, ya sea mediante homogenización, centrifugación, el uso de reactivos químicos, entre otros [12]. Aunque, recientemente se reportó, la estimación del contenido de estos constituyentes, omitiendo este tipo de tratamientos al utilizar modelos basados en quimiometría y métodos de preprocesamiento espectral [1]. A su vez, se han estudiado los fluoróforos intrínsecos en las grasas y proteínas como la riboflavina, vitamina A y triptófano [13]. Estos se pueden utilizar como sondas para monitorear mediante espectroscopia de fluorescencia frontal los cambios estructurales a nivel molecular de estos constituyentes; modificaciones asociadas, ya sea a cambios de pH y procesos térmicos [14]. Por otro lado, esta técnica, también ha demostrado su gran utilidad en el control de calidad de leche al permitir estudiar e identificar la formación de complejos de α-lactoalbúmina bovina con sustancia toxicas y adulteraciones con leche proveniente de otra especie, los cuales ponen en riesgo la seguridad alimentaria [15-16]. Aunque, para ello, también se requieren de estrategias quimiométricas para la extraer información tanto cualitativa como cuantitativa de los espectros obtenidos [14].

Para la obtención de perfiles estructurales de los constituyentes químicos, por ejemplo, en matrices complejas como la leche, se destaca el uso de la espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN). Esta técnica no destructiva, altamente sensible, permite análisis simultáneos con una preparación mínima de la muestra [17]. Los análisis incluyen, estudios de la composición de grasa, micelas de caseína, proteínas de suero y compuestos fosforilados presentes en la leche [18]. Aunque, a diferencia de las técnicas espectroscópicas mencionadas, actualmente su uso está basado en la identificación y cuantificación más detallada de diversos metabolitos como aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos y orgánicos [19]. Por ende, ha permitido obtener información actualizada de sus constituyentes químicos, perfiles de comparación entre diferentes especies bovina, reportar adulteraciones y realizar monitoreos en procesamiento continuo de leche, acoplados a metodologías quimiométricas [19-20-21].

Por lo tanto, las técnicas espectrales junto con herramientas quimiométricas, son bastante útiles para extraer información espectral de los constituyentes químicos de matrices complejas. Por ende, han permitido evaluar la calidad de leche bovina, identificar y cuantificar la composición de leche bovina, factores adulterantes, entre otros. A su vez, estas técnicas han incrementado la productividad en la industria láctea, puesto que los análisis se llevan al cabo rápidamente, reduciendo los costos a futuro a comparación de metodologías basadas en ensayos químicos. Por último, es importante destacar que, entre las técnicas más completas para la caracterización de leche, se encuentra el RMN, pero el alto costo limita su utilización.

Bibliografía

[1] B. Yang, W. Guo, W. Liang., W. Liang., Y. Zhou., X. Zhu. "Design and evaluation of a miniature milk quality detection system based on UV/Vis spectroscopy", JFCA, vol. 106, no. 104341, pp. 1-8, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jfca.2021.104341

[2] Z. Zhu and W. Guo. "Recent developments on rapid detection of main constituents in milk: a review", CRFSN, vol 61, no. 2, pp. 312-324, Feb. 2021, doi: 10.1080/10408398.2020.1731417

[3] F. Tao., M Ngadi. "Applications of spectroscopic techniques for fat and fatty acids analysis of dairy foods", COFS, vol 17, pp. 100-112, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.cofs.2017.11.004

[4] H. Mohamed., P Nagy., J Agbaba., A. Eldin. "Use of Near and Mid Infra-Red Spectroscopy for Analysis of Protein, Fat, Lactose and Total Solids in Raw Cow and Camel Milk", FC, vol 334, no. 127436, pp. 1-7, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127436

[5] C. Pasquini. "Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives e A review", ACA, vol. 1026, pp. 8-36, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.aca.2018.04.004

[6] P.A. Pinto., A.C. Souza., L.R. De Abreu., E.J. Magalhãesb., C.A. Nunes. "Strategies to determine lactose in cow milk by mid infrared spectroscopy", JFCA, vol. 104, no. 104176, pp.1-7, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jfca.2021.104176

[7] E. Dos Santos., D. De Sousa., M.C. Ugulino., P.H. Gonçalves., M.I. Sucupira. "Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms", FST, vol 127, pp. 1-10, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109427

[8] B. Balan, B., A.S. Dhaulaniya., R Jamwal., A. Yadav., S. Kelly., A. Cannavan., D.K. Singh. "Rapid detection and quantification of sucrose adulteration in cow milk using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy coupled with multivariate analysis", MBS, vol. 240, no. 118628, pp. 1-9, Oct. 2020. doi:10.1016/j.saa.2020.118628

[9] D. Conceição., B.H. Gonçalves., F. Da Hora. “Use of FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Analysis as a Screening Tool to Identify Adulterants in Raw Milk”, JBCS, vol. 30, no. 4, pp. 780-785, Oct. 2019, doi: 10.21577/0103-5053.20180208

[10] H. Chen., C. Tan., Z. Lin., T. Wu. “Detection of melamine adulteration in milk by near-infrared spectroscopy and one-class partial least squares”. MBS, vol. 173, pp. 832–836, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.saa.2016.10.051

[11] M. Y. Huang., R. Yang., Z. Zheng., H. Wu., Y. Yang. “Discrimination of adulterated milk using temperature-perturbed two-dimensional infrared correlation spectroscopy and multivariate analysis”, MBS, vol. 278, no. 121342, pp. 1-20., Oct. 2022. doi: 10.1016/j.saa.2022.121342

[12] A. Gastélum., G.M. Soto., A. Escamilla., M. Toledano., G. Macias., D. Jauregui. “Optical Methods Based on Ultraviolet, Visible, and Near-Infrared Spectra to Estimate Fat and Protein in Raw Milk: A Review”. Sensors, vol. 20, no. 12, pp. 1-16, Jun 2020, doi: 10.3390/s20123356

[13] O. Boukria., E.M. El Hadrami., S. Sultanova., J Safarov., F. Leriche., A. Aït-Kaddour. “2D-Cross Correlation Spectroscopy Coupled with Molecular Fluorescence Spectroscopy for Analysis of Molecular Structure Modification of Camel Milk and Cow Milk Mixtures during Coagulation”, Foods, vol. 9, no. 6, pp. 1-10, Jun. 2020, doi: 10.3390/foods9060724

[14] B. Yizhou and K. Jayendra. “A rapid method to quantify casein in fluid milk by front-face fluorescence spectroscopy combined with chemometrics”, JDS, vol. 104, pp. 243–252, Nov. 2020, doi: 10.3168/jds.2020-18799

[15] C. Jiménez., S.R.Tello., C.Z.Gómez., S. Alatorre., L. Gómez., G. Rodríguez., J. Cruz., M. García., A. Cruz. “Spectroscopic studies and molecular modelling of the aflatoxin M1-bovine α-lactalbumin complex formation”, JPPB, vol. 209, no. 111957, pp. 1-8, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.111957

[16] R. Ullah., S. Khan., H Ali., M. Bilal. “Potentiality of using front face fluorescence spectroscopy for quantitative analysis of cow milk adulteration in buffalo milk”, MBS, vol. 225, no. 117518, pp. 1-6, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.saa.2019.117518

[17] T. O’Callaghan., R. Vázquez., A. Serra., E. Dong., R. Mandal., D. Hennessy.,S. McAuliffe., P. Dillon., D.S. Wishart., C. Stanton., R. P. Ross. “Pasture Feeding Changes the Bovine Rumen and Milk Metabolome”, Metabolites, vol. 8, no. 27, pp. 1-24, Apr. 2018, doi: 10.3390/metabo8020027

[18] U. Sundekilde ., L. Larsen ., H. Bertram. “NMR-Based Milk Metabolomics”, Metabolites, vol. 3, no. 2, pp. 204–222, Apr. 2013, doi: 10.3390/metabo3020204

[19] A. Foroutan., A.C. Guo., R. Vazquez., M. Lipfert., L. Zhang., J. Zheng., H. Badran., Z. Budinski., R. Mandal., B.N. Ametaj., D.S. Wishart. “Chemical Composition of Commercial Cow’s Milk”, J AFC, vol. 67, no. 17, pp. 4897-4914, Apr 2019, doi: 10.1021/acs.jafc.9b00204

[20] A. Soyler., S. Cikrikci., C. Cavdaroglu., D. Bouillaud., J. Farjon., P. Giraudeau., M. Oztop. “Multi-scale benchtop 1H NMR spectroscopy for milk analysis”, LWT, vol. 139, no. 110557, pp. 1-10, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110557

[21] M.M. Bergana., K.M. Adams., J. Harnly., J. Moore., Z. Xie. “Non-targeted Detection of Milk Powder Adulteration by 1H NMR spectroscopy and Conformity Index Analysis”, JFCA, vol. 78, no. 110557, pp. 49-58, May 2019, doi: 10.1016/j.jfca.2019.01.016

CARACTERIZACIÓN DE LA HUELLA ESPECTRAL DE BIOPOLÍMEROS Y MATRICES POLIMÉRICAS ASOCIADAS CON ALIMENTOS: CARNES (POLLO)

Los productos cárnicos son altamente importantes en la dieta humana, esto se debe a que estos contienen nutrientes esenciales de un alto valor biológico, lo que hace que su consumo sea recurrente a nivel mundial. Por esto, el crecimiento de la industria agrícola necesita de métodos con los cuales se pueda realizar una determinación del tipo, estado y calidad de los productos cárnicos en el mercado, de tal manera que se evite la adulteración en la cadena de suministro de las carnes. [1]

Para las organizaciones de salud, reguladores de seguridad alimentaria y consumidores en general, requieren que la comercialización de los productos cárnicos presente un sistema confiable, de tal manera que se conserve la integridad de los productos en toda la cadena de suministro y así se identifiquen adulteraciones o fraudes que expongan al consumidor a cualquier peligro potencial. [2].

En este sentido, se requieren metodologías para obtener la información respecto al estado y composición de un producto cárnico, de tal manera que se logre un análisis, evaluación y certificación llevando a cabo un proceso rápido, económico y no destructivo. Para llevar a cabo la caracterización de especies de carne se han empleado distintos métodos bioquímicos, moleculares, entre otros, los cuales no han mostrado una eficiencia significativa debido a que el proceso para llevar a cabo el análisis requiere de procesos demorados, laboriosos y costosos, como es el caso de la identificación por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), el cual es un método que permite la identificación de un ADN o ARN específico dentro de una muestra compleja. [3]

Por otra parte, los métodos espectroscópicos han sobresalido debido a que su implementación presenta una mayor rapidez mediante un procesamiento previo no complejo. En ese sentido, se tienen la espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis), Raman, de descomposición inducida por láser (LIBS), de infrarrojo (IR) las cuales incluyen el infrarrojo cercano (NIR), medio (MIR) y de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) (Figura 4), los cuales irradian ondas hacia la muestra, estas ondas son transmitidas, reflejadas o absorbidas, según la composición química de las muestras, lo que permite la detección de especies de carne en productos cárnicos mediante un análisis espectral. [4-5]

Para llevar a cabo la identificación un producto cárnico se comparan los espectros según la distinta clasificación de especie animal, comparando las huellas dactilares de las muestras de referencia y analito, por medio de un estudio quimiométrico para extraer la información correcta y confiable de una muestra compleja. Por lo anterior, con el fin de llevar a cabo una caracterización a la carne de pollo, se han implementado distintos métodos, por ejemplo, En un estudio se logró diferenciar la carne de pollo saludable y no saludable, los cuales mostraban síntomas de enfermedades como tumores, aerosaculitis, septicemia , entre otras, por medio de espectroscopia de correlación bidimensional generando espectros en el rango visible entre 330 a 700 nm, donde se logró la diferenciación mediante el seguimiento de la bandas asociadas a la oxidación/degradación del grupo hemo presente en la mioglobina. [6-7]

Otro tipo de caracterización a productos cárnicos de pollo se realizó por medio de espectroscopia de fluorescencia, donde se diferenció carne de pechuga de pollo contaminada con Salmonella enterica y se observó un aumento en la intensidad de las bandas, la forma y la posición del pico de fluorescencia debido a la presencia de coproporfirina y NAD(P)H. [8]

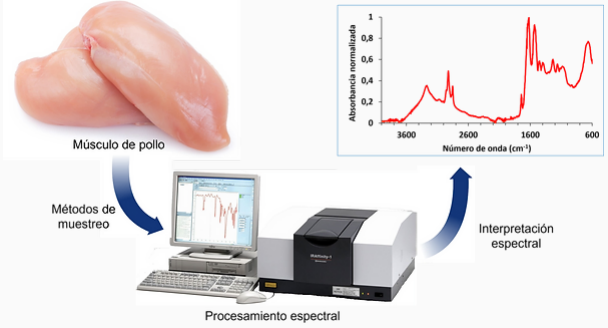
Por otra parte, se ha diferenciado muestras de carne de res y pollo mediante la espectroscopia FTIR por reflectancia total atenuada (ATR), donde empleando muestras de res con distintos porcentajes de pollo (0, 5, 10, 20, 40 y 100 %), además de un proceso de liofilización y triturado, se realizó la diferenciación de seis regiones en el espectro del MIR, por medio de un análisis quimiométrico usando dos métodos: análisis de conglomerados jerárquicos (HCA) y análisis de componentes principales (PCA). Donde el último generó una mejor diferenciación entre los productos cárnicos. [9]

También se ha evaluado el uso de espectroscopia de MIR para la detección de microplásticos en la carne de pollo, sin embargo, la clasificación correcta entre muestras contaminadas no presentó porcentajes altos de detección, lo que se atribuyó a limitaciones debidas a las interferencias de fondo de las muestras biológicas. [10]

Otro tipo de evaluación de la calidad de la carne de pollo consiste en el análisis de imágenes hiperespectrales, donde mediante la construcción de un sistema de imágenes de espectroscopia visible y de infrarrojo cercano (Vis/NIR) con un rango de longitud de onda de 400-1000 nm se determinó la frescura en la pechuga de pollo de engorde, observándose que la pechuga de pollo fresca presenta una longitud de onda más alta que la no fresca. [11]

En otro estudio muestran el uso de la espectroscopia NIR para la detección de anomalías musculares como la pechuga de madera, una enfermedad que afecta gravemente la calidad de la carne, al producir un endurecimiento severo en el musculo. La diferenciación se logró mediante PCA, en un rango de longitudes de onda de 1150-2150 nm, donde la clasificación de las pechugas con o sin anomalías presentó una precisión del 97.5 %. [12].

Figura 4. Caracterización espectral de músculo de pollo por medio de espectroscopia FTIR.



Bibliografía

[1] N. González, M. Marqués, M. Nadal, J. L. Domingo, "Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidences", Food Research International, vol 137, pp. 1-6, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109341

[2] Y. Kumar, S. C. Karne, "Spectral analysis: A rapid tool for species detection in meat products", Trends in Food Science & Technology, vol 52, pp. 59-67, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2017.02.008

[3] N.Z. Ballin, "Authentication of meat and meat products", Meat Science, vol 86 no. 3, pp. 577-587, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.06.001

[4] G. Bilge, H. M. Velioglu, B. Sezer, K. E. Eseller, I. H. Boyaci, "Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy", Meat Science, vol 119, pp 118-122, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.meatsci.2016.04.035

[5] I. H. Boyacı, H. T. Temiz, R. S. Uysal, H. M. Velioğlu, R. J. Yadegari, M. M. Rishkan, A novel method for discrimination of beef and horsemeat using Raman spectroscopy, Food Chemistry, vol 148, pp. 37-41, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.10.006

[6] Y. Liu, Y. Chen, Y. Ozaki, "Characterization of Visible Spectral Intensity Variations of Wholesome and Unwholesome Chicken Meats with Two-Dimensional Correlation Spectroscopy", Applied Spectroscopy, vol. 54 no. 4, pp. 587-594, Apr. 2000, doi:10.1366/0003702001949780

[7] S. Kang, M. S. Kim, K. Chao, I. Kim, Y. Chen, "Sukwon Kang, Moon S. Kim, Kuanglin Chao, Intaek Kim,Yud-Ren Chen", American Society of Agricultural and Biological Engineers, vol. 2, pp. 1-8, Jul. 2002, doi: 10.13031/2013.9173

[8] L. C. Courrol, M. A. Vallim, "Characterization of chicken meat contaminated with Salmonella by fluorescence spectroscopy", Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, vol 261, pp. 1-7, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.saa.2021.119986

[9] D. Ebrú, G. A. Evrim, A. Beycan, I. Naşit, Ö. D. Duygu, C. Kezban, "Differentiation of beef mixtures adulterated with chicken or turkey meat using FTIR spectroscopy", Journal of Food Processing and Preservation, vol. 42, no. 10, pp. 1-12. Oct. 2018, doi: 10.1111/jfpp.13767

[10] Y. Huang, J. Chapman, Y. Deng, D. Cozzolino, "Rapid measurement of microplastic contamination in chicken meat by mid infrared spectroscopy and chemometrics: A feasibility study", Food Control, vol 113, pp. 1-7. Jul. 2020, doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107187

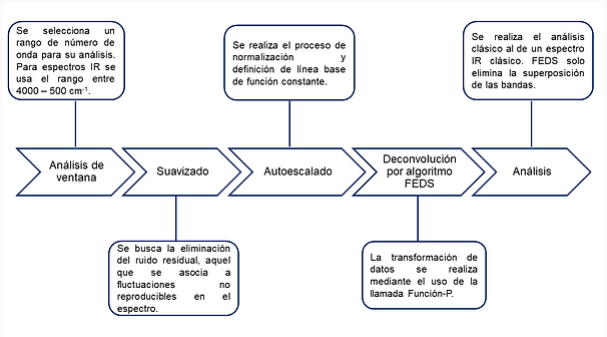
[11] E. L. Noferita, A. H. Saputro, C. Imawan, "Examination system of chicken meat quality based on hyperspectral imaging", Journal of Physics: Conference Series, vol. 1528, pp 1-6. Apr. 2020, doi:10.1088/1742-6596/1528/1/012045

[12] B. C. Geronimo, S. M. Mastelini, R. H. Carvalho, S. B, Júnior, D. F. Barbin, M. Shimokomaki, E. I. Ida, "Computer vision system and near-infrared spectroscopy for identification and classification of chicken with wooden breast, and physicochemical and technological characterization", Infrared Physics & Technology, vol 96, pp 303-310, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.infrared.2018.11.036

Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS)

Debido a la necesidad de contrarrestar algunas de las desventajas que se tiene con la resolución de los espectros para el análisis de muestras cuya composición es muy compleja (p ej. Materiales biológicos, suelos, alimentos, etc.), o bien, cuya estructura se encuentre en conformaciones aleatorias como el vidrio o sistemas acuosos donde hay una incidencia en el ensanchamiento de bandas y una disminución en el número de picos [1]. Todo esto implica que la interpretación del espectro se va a dificultar debido a señales ocultas por lo que es necesario la aplicación y evaluación algunos métodos como la derivatización espectral, que se basa en el análisis de los primeros órdenes de derivación, siendo el segundo orden el más utilizado. Este proceso, permite evaluar los cambios de la pendiente y la velocidad del cambio del espectro experimental, evidenciando una serie de picos superpuestos que pueden observarse claramente. Sin embargo, al emplear dicho método hay una disminución en la relación señal/ruido por lo que aumenta la complejidad del espectro y, en consecuencia, su interpretación [2]. Por otro lado, se tiene la deconvolución por medio de Transformada de Fourier, el cual toma como principio de que un espectro original es una convolución de una función base del espectro real. El objetivo es obtener el espectro real mediante una operación de deconvolución con transformada de Fourier inversa a partir de diferentes funciones base, como las funciones gaussianas, lorentziana y de Voight [3]. Esta herramienta resulta de gran utilidad si es acompañada con otros métodos de ajuste de curvas, lo cual ayuda en la identificación de bandas superpuestas. Pero, este método presenta desventajas debido a su alta complejidad en lo referente a su operatividad y la variabilidad de las funciones que van ligadas al sistema a estudiar [2]. Es por ello, que se han planteado nuevos algoritmos matemáticos capaces de mejorar y facilitar la interpretación de los espectros como es el caso de FEDS, el cual resulta ser una alternativa de deconvolución el cual genera un aumento significativo en la resolución del espectro derivada de la transformación funcional del espectro mediante el empleo de algoritmos matemáticos mejorados, los cuales presentan ventajas notables como: su fácil manejo, no requiere herramientas computacionales complejas; buena adaptabilidad, no requiere ningún software avanzado; y, el espectro resultante es coherente con el espectro IR de origen [4]. El procedimiento para la aplicación de FEDS sigue la siguiente secuencia de pasos mostrados en la figura 2.

Figura 5. Diagrama de aplicación del algoritmo FEDS [5].



Es importante mencionar la gran utilidad que tiene FEDS como herramienta analítica para la resolución de espectros provenientes de muestras provenientes de suelos, para el estudio estructural de la humina en suelos agrícolas [6]. También, se ha aplicado en sistemas de origen biológico como en el caso de la caracterización de biopelículas artificiales de bacterias fijadoras de nitrógeno (Azotobacter Chroococcum) donde se empleó dicha técnica para la detección de señales débiles provenientes de dichas biopelículas [7]. Se ha empleado FEDS en la caracterización de escamas de pescado de Bocachico (Prochilodus magdalenae) permitiendo la identificación de biomoléculas como el colágeno y minerales como la hidroxiapatita presente en este tejido [8]. lo que denota la importancia de este algoritmo como una herramienta analítica en la resolución de espectros en muestras de diversa naturaleza solucionando el problema de superposición de señales siendo una alternativa que implica potenciar el uso de la espectroscopia de infrarrojo, garantizando una correcta asignación y análisis de los espectros obtenidos posterior a su aplicación.

Bibliografía

[1] M. Palencia, “Functional Transformation of Fourier-Transform Mid-Infrared Spectrum for Improving Spectral Specificity by Simple Algorithm Based on Wavelet-like Functions”, Journal of Advanced Research, vol. 14, pp. 53–62, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.jare.2018.05.009

[2] A. Otálora, M. Palencia, “Application of Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS) to the Problem of the Overlap of Spectral Signals in Binary Mixtures: Triethylamine-Acetone”, Journal of Science with Technological Applications, vol. 6, pp. 96–107, May. 2019, doi: 10.34294/j.jsta.19.6.44

[3] A. Dakhane, S. B. Madavarapu, R. Marzke, N. Neithalath, “Time, temperature, and cationic dependence of alkali activation of slag: insights from Fourier transform infrared spectroscopy and spectral deconvolution”, Applied Spectroscopy, vol. 71, no. 8, pp. 1795–1807, Apr. 2017, doi: 10.1177/0003702817704588

[4] M. Palencia, V. Garcés-Villegas, D. F. Restrepo, J. M. Martinez, L. R. Anaya–Tatis, E. M. Combatt, “Functionally-enhanced derivative spectroscopy (FEDS): a powerful tool to increase of spectral resolution in the mid-infrared advanced analysis of complex samples–a mini review”. Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering, vol. 7, no. 1, pp. 43–46, Feb. 2020, doi: 10.15406/jabb.2020.07.00214

[5] M. Palencia, “Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS): A methodological approach”, Journal of Science with Technological, vol. 9, pp. 29–34, Nov. 2020, doi: 10.34294/j.jsta.20.9.63

[6] A. García, E. Combatt, M. Palencia, “Structural study of humin and its interaction with humic acids by Fourier-transform mid-infrared spectroscopy”, Journal of Science with Technological Applications, vol. 8, pp. 28–39, May. 2018, doi: 10.34294/j.jsta.18.4.28
[7] M. E. Berrio, S. L. Palencia, T. A. Lerma, M. A. Mora, “Bacterial colonization modelling on soil particles: Effect of humic acids on the formation of nitrogen-fixing bacteria biofilms”, Journal of Science with Technological Applications, vol. 5, pp. 33–44, Nov. 2018, doi: 10.34294/j.jsta.18.5.33

[8] L. R. Anaya, K. H Libreros, V. J. Palencia, V. J Atencio, M. Palencia, “Mid-infrared spectral characterization of fish scales: "Bocachico" (Prochilodus magdalenae) by Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS) - A methodological approach”. Journal of Science with Technological Applications, vol. 6, pp. 28–39, May. 2019, doi: 10.34294/j.jsta.19.6.39

Resultados

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS

(Se agregará información posteriormente)

PRODUCTOS ASOCIADOS

- ARTÍCULOS

(Se agregará información posteriormente)

- PRODUCTOS DE DIVULGACIÓN

(Se agregará información posteriormente)

Agradecimientos

Mindtech Reseach Group (Mindtech-RG), Mindtech s.a.s. (Montería/Barranquilla, Colombia)

Minciencias: Convocatoria 891 - 2020