

El uso del NIRS como alternativa viable en el análisis químico en dietas para alimento animal

The use of NIRS as a viable alternative in the chemical analysis of diets for animal feed

Resumen

El análisis de la composición química de los insumos utilizados en la preparación de alimentos para producción animal es relevante dentro del proceso productivo. La medición de la reflectancia en el espectro infrarrojo cercano en los alimentos ha permitido describir la composición química de los mismos. La técnica que se emplea para estas mediciones se conoce como Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano, también conocida como NIRS (por sus siglas en inglés, Near Infrared Reflectance Spectroscopy).

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (1): 19-34. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0003>

Francisco D. Lizárraga-Hernández¹, Yuneisy M. Agüero-Fernández², Edilmar Cortés-Jacinto³, Fernando Vega-Villasante², Manuel A. Vargas-Ceballos³, Miriam V. Martín-Manzo³

¹Departamento de Ciencias Marinas y Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Km 5.5 Carretera al Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

²Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro de Investigaciones Costeras, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

Corresponding author: Yuneisy Milagro Agüero-Fernández (yaguero81@gmail.com)



Se le considera como una alternativa viable a los métodos de análisis químico-proximal tradicional, ya que se basa en la quimiometría, asociando la luz absorbida en una muestra de alimento con la composición química del mismo, mediante el uso de métodos de regresión lineal. La técnica ha sido utilizada en el análisis de dietas con resultados confiables para la cuantificación de variables nutrimentales.

Cabe destacar que en el desarrollo de modelos matemáticos para cuantificar cada componente se deben obtener muestras que integren todos los factores de variación de la composición química del alimento. El uso del NIRS ha sido reconocido como confiable, de bajo costo y rápido que no genera desechos químicos, por lo tanto es catalogada como una tecnología limpia, sostenible; en consecuencia,

esta técnica es aplicada en laboratorios y proyectos de zootecnia de muchas instituciones. Ante esto, la divulgación de técnicas de laboratorio que estén acorde con los lineamientos de las instituciones es relevante para mejorar el desarrollo de investigación, divulgación científica y la docencia dentro de ellas mismas. El objetivo de este artículo es describir los usos potenciales de la técnica NIRS, así como destacar algunos principios básicos para su aplicación en el análisis químico de insumos para la fabricación de alimentos acuícolas.

Palabras claves: reflectancia, infrarrojo, alimento, muestras, ventajas

Abstract

The analysis of the chemical composition of the raw materials used for the preparation of animal feed is relevant within the production process. The measurement of foods' infrared spectra reflectance has permitted to describe their chemical composition. This measurement technique is known as Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS).

It is considered as a viable alternative to the traditional proximate chemical analysis because it is based on chemometrics; it relates the absorbed light in a food sample with the chemical composition by applying linear regression methods. This technique has been widely used in the analysis of raw materials and animal feed, and it has proven to be reliable for the quantification of nutritional variables.

It should be noted that, in the development of mathematical models for measuring each component, it is necessary to obtain samples that integrate all the factors that cause variation in the raw material's chemical

composition. The use of the NIRS has been recognized as reliable, low cost and fast; moreover, it does not generate chemical wastes, and thus it is classified as a clean, sustainable technology. Therefore, this technique is applied in zootechnics laboratories and projects of many institutions. As a consequence, the divulgation of laboratory techniques that are in accordance with the guidelines of the institutions is relevant to improve the development of research, scientific divulgation and teaching within them. The objective of this article is to describe the potential uses of the NIRS technique, and likewise to highlight some basic principles for its application in the chemical analysis of supplies for the fabrication of aquafeed.

Keywords: reflectance, infrared, food, samples, leads

Antecedentes

En el año 2020, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), indica que la agroindustria acuícola ha sido crucial para incrementar la producción de pescados y mariscos. Desde 1980, por causa del estancamiento de las pesquerías a nivel mundial, la acuicultura ha hecho posible proveer de alimentos de origen acuático a un mercado cuya demanda anualmente ha aumentado un 3.2%. Dentro de los grupos taxonómicos que mayor crecimiento han mostrado en su producción acuícola, los crustáceos ocupan un lugar privilegiado ya que entre 2000 y 2006 tuvieron un crecimiento del 54% en su producción mundial, con el 11.4% de la producción acuícola mundial (FAO, 2020), el más alto entre todos los grupos de animales cultivados y, según datos de 2018, representan el tercer grupo acuícola con mayor producción en el mundo con 9.4 millones de

toneladas (FAO, 2020).

Los productos acuícolas poseen un apreciable valor nutricional, lo que ha llevado a que, a nivel mundial, se hayan realizado estudios relacionados con el aprovechamiento de dichos recursos. Una de las más comunes es la transformación de productos pesqueros a fin de elaborar harinas de pescado, con las cuales se formulan y fabrican alimentos para animales (Valenzuela *et al.* 2012; Hodar *et al.* 2020).

Con base en los estudios de Vásquez-Torres *et al.* (2013), se ha demostrado que las harinas de residuos de pescado son mejores que otras harinas de origen vegetal y animal, debido a su contenido de proteínas, su aporte en aminoácidos esenciales, la presencia de ácidos grasos poliinsaturados y su digestibilidad (Lúquez-Pérez y Hleap-Zapata, 2020). Las harinas de pescado, se



han utilizado como fuente de proteína para la alimentación de diferentes especies animales, y han sido cruciales para la consolidación de la agroindustria acuícola. Perea-Román *et al.* (2018) presentaron un estudio, en el que, utilizaron los residuos de la producción de trucha (*Onkorhynchus mykiss*), para la elaboración de ensilados, para la alimentación de tilapia roja (*Oreochromis spp.*).

Parra-Flores (2020) estudió las preferencias alimentarias del langostino *Macrobrachium americanum* (Decapoda: Caridea: Palaemonidae), para lo cual utilizó diversas harinas de origen animal; concluyendo que el ingrediente con mayor aceptación fue la harina de pescado (3.32%). Esto indica que *M. americanum*, pese a ser una especie omnívora, muestra una clara preferencia por los alimentos de origen animal.

Con relación a lo planteado anteriormente y el beneficio que reporta la harina de pescado en la alimentación acuícola, es de suma importancia conocer la composición química de dicho insumo, a fin de saber si cumple con la calidad requerida para alimentar a los organismos cultivados. Consecuentemente, el control analítico de los alimentos y productos acuícolas es un punto crítico en lo que se refiere a la aplicación práctica de los conocimientos científicos generados en el campo de la nutrición humana y animal (Ikonen *et al.* 2020).

Las propiedades ópticas de los alimentos hacen que algunos de los métodos más empleados para su control de calidad sean algún tipo de espectroscopia. De manera particular, el NIRS (por sus siglas en inglés, Near-Infrared Reflectance Spectroscopy) se emplea desde la década de 1970 en la industria alimenticia, farmacéutica petroquímica, como alternativa a los métodos químicos y químicos-biológicos tradicionales (Pérez-Terraza *et al.* 2020).

El principio básico en el que se fundamenta esta técnica es irradiar con un haz de luz monocromática los materiales orgánicos; en función de la naturaleza de los enlaces y cargas electrostáticas que existen entre sus átomos y moléculas, estos absorben una determinada cantidad de energía lumínica que se determina con base a la que es reflejada. Este valor puede expresarse en términos de la proporción de la reflectancia (log reflectancia estándar / reflectancia de la muestra), a partir de lo cual se logra un espectro característico de cada material que refleja su composición química (Sánchez *et al.* 2020).

Esta técnica, cuantifica la interacción de la materia con un haz de luz incidente, donde una porción de fotones es reflejada (reflectancia) y el resto es absorbida (absorbancia) por unos detectores dentro del equipo. Dependiendo de la longitud de onda de

la luz incidente, la absorbancia o reflectancia de la luz se relaciona con el número o concentración de moléculas absorbentes presentes en la muestra (Blanco y Villarroya, 2002).

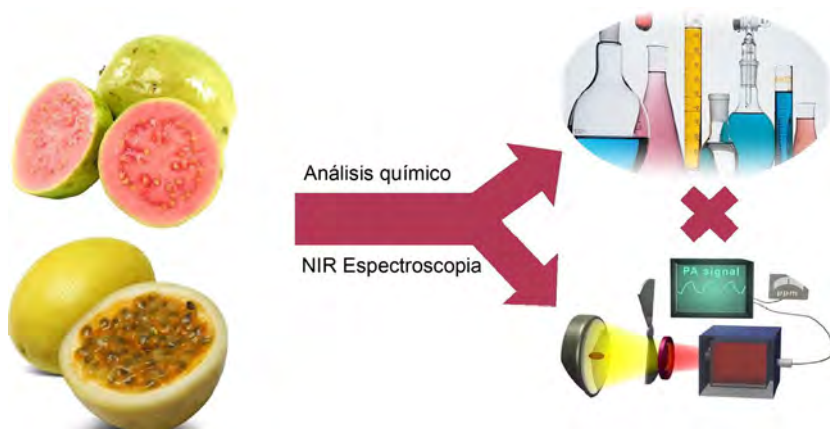


Figura1. Metodologías de análisis químico tradicionales comparadas con el NIRS. Fuente: (Modificado a partir de Alamar *et al.* 2016).

Sub-Apartados Temáticos de la Revisión efectuada

Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano, (NIRS)

La Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano, o espectroscopia NIRS, permite analizar y cuantificar la composición química de alimentos y forrajes de forma rápida (Liew *et al.* 2008).

En materiales químicamente heterogéneos los espectros obtenidos en la región NIRS 800 a 2.500 nm suelen ser combinaciones de bandas de absorción superpuestas o muy cercanas, es decir, presentan poca amplitud entre sus reflectancias; en consecuencia, es necesario llevar a cabo transformaciones matemáticas de los resultados de la espectroscopía. Esto se realiza mediante algoritmos y modelos estadísticos multivariados, por ejemplo, con la aplicación de modelos de regresión lineal múltiple a los valores de reflectancia transformados logarítmicamente,

es posible relacionar la información del espectro infrarrojo reflejado de las muestras con su composición fisicoquímica o bioquímica (Elif, 2016; Molano *et al.* 2016; Kademi, *et al.* 2019; Figura 2). En el análisis de la composición química de harinas de pescado por medio del NIRS, una vez que se tienen los valores logarítmicos de la reflectancia emitida por las muestras, se procede a aplicarles una regresión de mínimos cuadrados parciales modificados, mediante la cual se formula la ecuación para cuantificar los valores de cada variable físico-química; después, se aplica una validación cruzada interna y una curva normal estandarizada para corregir anomalías en las lecturas del espectro infrarrojo (Cozzolino *et al.* 2003). Una vez que se ha generado la ecuación de calibración y cuantificación, se procede a contrastar los resultados obtenidos mediante el

modelo formulado a partir de la reflectancia de las muestras con datos sobre la composición química de las harinas y los obtenidos a partir de análisis químico-proximales con técnicas clásicas (Figura 3).

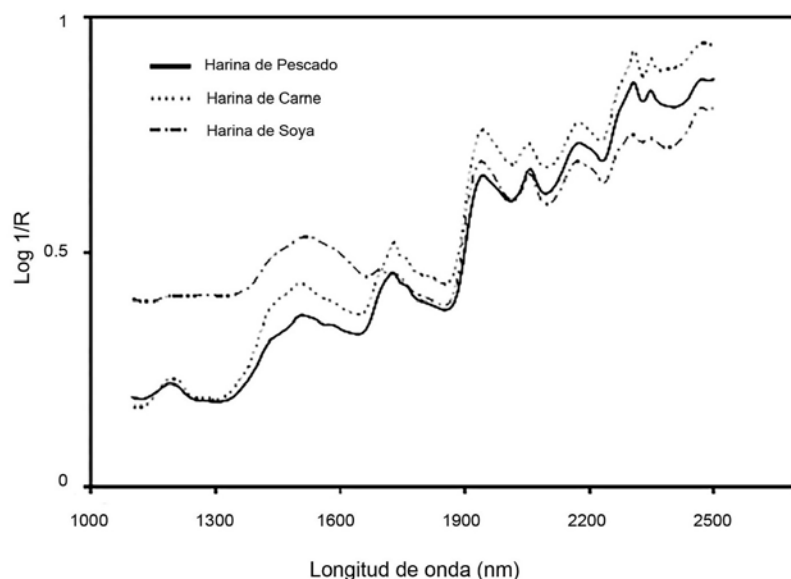


Figura 2. Espectro infrarrojo promedio detectado en muestras de harinas de pescado, de carne y soya. Fuente: (Modificado a partir de Cozzolino *et al.* 2009).

Breve reseña del uso del NIRS

El inicio de la espectroscopia se remonta a mediados del siglo XVII, cuando Sir Isaac Newton advirtió que, al hacer pasar un haz de luz a través de un prisma, ésta se descomponía en los colores del espectro, y al volverla hacer pasar por otro prisma, la luz se podía recomponer para dar lugar de nuevo a luz blanca (Rivera-Rivera *et al.* 2018). En cuanto a la región del infrarrojo cercano, fue el astrónomo anglo-alemán Wilhelm Herschel quien la estudió por primera vez en el año 1800, divulgando información que sirvió como base para el desarrollo de equipos de comunicación (Pasquini, 2003). Posteriormente, fue desarrollado el detector fotoeléctrico infrarrojo y en 1950 en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA); K. Norris lo usó para investigar las

propiedades ópticas de la luz en materiales biológicos, obteniendo buenos resultados.

El primer reporte de la aplicación de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para el análisis de alimentos fue realizado en soya por Ben-Gera y Norris (1968). En 1976, se llevaron a cabo los primeros análisis en forraje y posteriormente fue utilizado en la evaluación de materiales sólidos. Ha sido ampliamente usado para determinar la composición y calidad de heno, silo, granos y productos alimenticios; de igual manera, se ha empleado en la industria farmacéutica y en industrias para controlar el material usado en muelles de carga.

En procesos biológicos, ha sido usado para monitorear procesos de fermentación y reacciones químicas (D'Mello, 2000; Rivera y Alba, 2017).

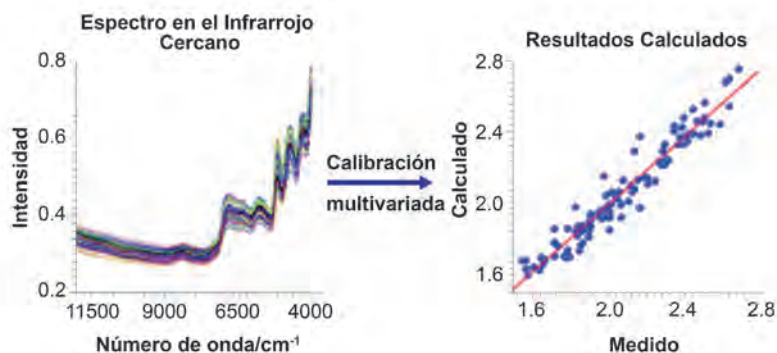


Figura 3. Esquema general de la transformación de la información del espectro infrarrojo en ecuaciones para la predicción del contenido químico cuantitativo de las muestras analizadas mediante NIRS. Fuente: Shao *et al.* (2010).

Ventajas del uso del NIRS

La tecnología basada en el NIRS, cuenta con algunas ventajas, como son la flexibilidad de los análisis que realiza.

Después de la calibración del equipo, este método analítico es rápido (segundos), fiable y fácil de utilizar, no es un método destructivo ni tampoco invasivo, no causa daños al organismo. El equipo es fácil de transportar, resulta relativamente económico, y tiene especificidad bioquímica.

Asimismo, no emplea reactivos químicos (es más amigable al medio ambiente), disminuye el error del operador y se obtienen imágenes funcionales. Todas las características anteriores han hecho que la tecnología basada en NIRS esté cada vez más involucrada en su aplicación a estudios en diversos campos de la medicina y biomedicina (Zossi *et al.* 2010; Rivera-Rivera *et al.* 2018; Sánchez *et al.* 2020).

El sistema NIRS puede implementarse para su uso en forma cualitativa o cuantitativa, ejemplo de ello es el estudio realizado por Cozzolino (2002) con 400 muestras de alimentos para animales, donde se encontraron altas correlaciones (coeficientes de correlación mayores a 0.8) entre la relación entre varias variables físico-químicas

(materia seca, proteína cruda, fibra cruda, fibra ácida y neutra, cenizas en base seca) medidas por métodos estándar y los valores para esas mismas propiedades obtenidos espectroscópicamente.

Aunque en ese estudio se utilizó un rango de longitud de onda que cubre el espectro de luz visible y el infrarrojo cercano (400-2.500 nm), se demostraron las potencialidades de esta técnica para evaluar la composición química de alimentos animales.

Características de la muestra a utilizar para calibrar el NIRS

Seleccionar bien las muestras es el punto de partida para generar los datos de calibración del NIRS, y por tanto es importante controlar los factores que puedan generar errores de calibración.

Los principales factores asociados a la muestra son: Tamaño de la partícula, humedad y temperatura.



Los enlaces de hidrógeno y oxígeno del agua absorben fuertemente la radiación del infrarrojo, por lo cual, la técnica de secado y/o almacenamiento de la muestra debe ser la adecuada; se sugiere el método de liofilización para el secado de la muestra. El contenido de humedad residual debido al tiempo de almacenamiento en laboratorio desde el análisis hasta la lectura en el NIRS puede generar altos errores de calibración (Cozzolino, 2002). Con respecto al tamaño de las partículas, aquellas que son de mayor tamaño absorben mayor radiación que las partículas pequeñas.

Para mantener un paso óptico efectivo en las muestras, estas deben molerse a un tamaño promedio de 1 mm (Jiménez, 2007). En cuanto al número de muestras que deben participar en el proceso de calibración y validación del NIRS, diferentes reportes indican que, en el desarrollo de ecuaciones de predicción de desempeño animal y datos, lo indicado es no tener menos de 100 muestras para una mayor confiabilidad de los resultados según lo proponen Rivera *et al.* (2018).

Algunos estudios relacionados con la aplicación del NIRS

El uso del NIRS constituye una herramienta útil para medir la composición química de granos de destilerías que se utilizan como alimento para animales (ASD Inc., 2009). Por otro lado, se han desarrollado diversas aplicaciones del NIRS para la discriminación o clasificación de productos agroalimentarios con base al sistema productivo, origen, dieta, raza, especie o variedad (Huang *et al.* 2008; Woodcock *et al.* 2008).

Tradicionalmente, los métodos para la clasificación de productos agroalimentarios consisten en primeramente categorizarlos según su materia prima (por ejemplo, cereales, hortalizas, mariscos, cárnicos, etc.), su método de

producción (cultivo intensivo o extensivo, sistema de riego por aspersión o subterráneo, etc.) y origen geográfico; después se procede a evaluar su calidad físico-química, aporte nutricional e inocuidad mediante la aplicación de técnicas biológicas, químicas y organolépticas estandarizadas (Huss *et al.* 2003; AOAC, 2005). Gracias a esto, es posible asignar a los productos agroalimentarios una categoría de calidad en función a los resultados de los análisis realizados; por ejemplo, harinas de pescado se consideran de categoría A cuando contienen entre 57-64% de proteínas, y de categoría B entre 50-56% de éste mismo parámetro. No obstante, debido a que estos métodos suelen consumir mucho tiempo de trabajo en laboratorio, así como reactivos químico-biológicos y cristalería, la clasificación de la calidad de los productos agroalimentarios regularmente demora varios días. Ante esto, el NIRS

representa una oportunidad para agilizar estos procesos, al requerir de poco tiempo para analizar varios parámetros físico-químicos y nutricionales de estos productos.

De igual manera, se ha implementado para la detección de enfermedades o defectos internos en frutas y frutos secos, para la detección de fraudes o adulteraciones alimentarias (Sun *et al.* 2009; Sánchez *et al.* 2020).

El contenido de los componentes principales (grasas, proteínas, y carbohidratos) constituye uno de los factores importantes para la calidad de la leche en polvo, y se tiene registro que el NIRS ha logrado cuantificar con gran precisión los niveles de estos parámetros en muestras de éste producto (Wu *et al.* 2008).

Por otra parte, en estudios sobre maduración de quesos, las estimaciones del NIRS sobre la composición

química cuantitativa de estos lácteos, las cuales se obtienen a partir de la relación lineal que se establece con base a las reflectancias registradas en la espectroscopía, brindan resultados más confiables que los basados en el envejecimiento del contenido de los aminoácidos libres (Freten *et al.* 2007).

Rivera-Rivera *et al.* (2018) realizaron estudios donde destacan que el NIRS es una metodología empleada en la industria, en farmacéutica y en el análisis de la composición química de alimentos. Un aspecto muy interesante que señalan estos autores es que el NIRS, pese a ser un equipo costoso, permite recuperar el capital invertido en menos de dos años si con él se provee un servicio de análisis de composición químico-proximal de muestras de alimento y forrajes para empresas agropecuarias.

Almeida y Macías (2020), realizaron una investigación que se centró en evaluar una nueva modalidad de análisis con metodología NIRS en la determinación de ácidos grasos de algunos aceites, que permitió clasificar y cuantificar características de aceites crudos de naturaleza distinta, de una manera más fácil, rápida y no destructiva.

Estupiñán *et al.* (2021), realizaron una investigación para determinar la aplicabilidad del NIRS para la valoración nutritiva de dos especies forrajeras de importancia en el país: alfalfa (*Medicago sativa* L) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L). En éste estudio, se lograron generar las ecuaciones de calibración y validación del NIRS, mismas que permitieron obtener buenas estimaciones del contenido de las siguientes variables nutricionales en distintos lotes de alfalfa y trébol rojo: Proteína cruda ($r^2 = 0.97$), cenizas ($r^2 = 0.99$) y fibra detergente neutra ($r^2 = 0.94$). Los valores obtenidos por medio del NIRS se compararon con los resultados de análisis químico-proximales con métodos



tradicionales en estos mismos lotes de forrajes, siendo muy cercanos a los que se obtuvieron por medio de estos últimos; consecuentemente, se logró validar el uso del NIRS para el análisis químico de estos forrajes.

Consideraciones finales y perspectivas

Los análisis químicos tradicionales para determinar la composición química del alimento demandan tiempo, mano de obra, y tienen un elevado costo, lo cual implica un retraso en la obtención de la información sobre la composición química.

El NIRS es una técnica alternativa a los métodos químico-biológicos tradicionales, con buen potencial para obtener de modo rápido, seguro, limpio y menos costoso, las estimaciones de la composición química de los insumos que se emplean en nutrición animal. Si bien la inversión inicial que se realiza en la adquisición y calibración de un equipo NIRS es alta (hasta \$29,000 USD para los más modernos), una vez que se pone en funcionamiento, el costo invertido puede recuperarse en menos de dos años gracias a que se puede brindar un servicio de análisis químico a productores de harinas, forrajes y alimentos animales. Debido a la rapidez y precisión de los resultados del NIRS, la industria alimentaria suele preferirlos a los obtenidos por métodos tradicionales debido al menor tiempo de espera.

Por otra parte, los modelos estadísticos desarrollados en el NIRS para componentes químicos de los alimentos y de otros materiales son confiables y precisos una vez que se han realizado las calibraciones correspondientes, lo cual da confiabilidad a los productores de alimentos de tener un margen de error reducido en el análisis químico de sus insumos.

El éxito de la técnica puede atribuirse, en gran parte, a la capacidad para la realización del análisis de rutina rápido, con alta repetibilidad, reproducibilidad y exactitud en laboratorios de nutrición animal. Esto permite tomar decisiones rápidas, lo cual es de gran importancia en el sector productivo. Requiere, además, una nula o escasa preparación de la muestra (análisis no destructivo de las muestras), e implica un ahorro considerable de reactivos y cristalería propia de los análisis químicos tradicionales. De igual manera, no genera residuos químicos contaminantes, por lo cual se le considera como una tecnología limpia (Valenciaga y Simoes-Saliba, 2006).

Cabe destacar que en los últimos años se han desarrollado numerosas aplicaciones del NIRS que fortalecen su capacidad de evaluar la composición química en alimentos,

como lo es su uso cada vez más generalizado en la detección de adulterantes en forrajes y lácteos. De igual manera, su integración a las tecnologías de la comunicación permite compartir una gran cantidad de datos sobre los resultados obtenidos con esta técnica, con lo cual es posible desarrollar ecuaciones de calibración prefabricadas que agilicen el desarrollo de modelos para estimar la composición química cuantitativa de las muestras. Gracias a esto, el NIRS se ha integrado cada vez más en controlar el procesamiento y certificar la calidad de productos agroalimentarios, elaborados tanto para los animales, como para la población humana. Ante esta realidad, puede suponerse que las aplicaciones de esta técnica aumentarán en los próximos años.

Agradecimientos

Programa para el Desarrollo Profesional Docente, del Tipo Superior (PRODEP), por permitir la realización de la estancia posdoctoral (511-6/2020-9713l), al proyecto “Rendimiento reproductivo de langostinos nativos *Macrobranchium americanum*, *M. tenellum*: alta calidad larvaria en condiciones de cautiverio” FC 2016 /2930 dirigido por Edilmar Cortés-Jacinto del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. A la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa. Al Lic. Gerardo Hernández por el diseño gráfico editorial para este artículo.

Literatura citada

- Almeida, Z.J.A., M.D.A. Macías. 2020. *Metodología NIR en la determinación rápida de ácidos grasos en aceites crudos. área de control de calidad la fabril S.A.* Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ecuador. 38 pp.
- Alamar, P., E.T. Caramês, R.J. Poppi y J.A.L. Pallone. 2016. *Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruits pulps by NIR spectroscopy and chemometrics.* Food Research International 85: 209-214.
- Alomar, D., R. Fuchslocher. 1998. *Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes.* Agro Sur 26(1):88-104.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 18^a Ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, EUA. 1234 pp.



- ASD Inc. 2009. Distillers Grain Sulfur and Moisture Modeled using LabSpec 5000. Boulder, CO: Dan Shiley.
- Barnes, R.J., M.S. Dhanoa y S.J. Lister. 1989. *Standard normal variate transformation and detrending of near infrared diffuse reflectance spectra*. Applied Spectroscopy 43 (4): 772-777.
- Blanco, M. y I. Villarroya. 2002. *NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool*. TrAC Trends in Analytical Chemistry 21 (4): 240-250.
- Cozzolino, D. 2002. *Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales*. Agrociencia 6 (2): 25- 32.
- Cozzolino, D., A. Chree, I. Murray y J.R. Scaife. 2003. *The assessment of the chemical composition of fishmeal by Near Infrared Reflectance Spectroscopy*. Aquaculture Nutrition 8 (2): 149-155.
- Cozzolino, D., E. Restaino, A. La Manna, E. Fernández y A. Fassio. 2009. *Usefulness of Near Infrared Reflectance (NIR) spectroscopy and chemometrics to discriminate between fishmeal, meat meal and soya meal samples*. Ciencia e Investigación Agropecuaria 36 (2): 209-214.
- Elif, J., H. Cherney, P. Siroisc, D. Kubinecc y D. Cherneyd. 2016. *Botanical composition prediction of alfalfa-grass mixtures using NIRS: developing a robust calibration*. Crop 56:3361-3366.
- Estupiñán, M.C., C.F. Carcelén, L.V. Hidalgo, E.D. Rojas, C.O. Vera, G.S. López y Q.S. Bezada. 2021. *Aplicación de la espectroscopia del infrarrojo cercano NIRS para determinar el valor nutritivo de variedades de alfalfa (Medicago sativa L) y trébol rojo (Trifolium pratense L)*. Revista de Investigación Veterinaria del Perú 32(1): e19491.
- FAO, 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, 1ª Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, Italia. 243 pp.
- Feten, G.; Skeie, S.; Almøy, T.; Østlie, H.; Isaksson, T. 2007. Using NIR spectroscopy for the prediction of free amino acids during cheese ripening. NIR News 18(1): 4-5.
- Garayoa, P.I. 2020. *Evaluación de la tecnología de infrarrojo cercano en la detección de adulterantes en la miel. Tesis de máster universitario en tecnología y calidad en las industrias agroalimentarias*. Universidad Pública de Navarra. España. 59 pp.
- Garrido, A., A. Gómez, J. Guerrero y V. Fernández. 1996. *NIRS: Una tecnología de apoyo para un servicio integral en alimentación animal. (en línea)*. Madrid, España. En: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloXIV.pdf>. (Consultado el 20/06/2021).

- Givens, D.I., J.L. De Boever y E.R. Deaville. 1997. *The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans*. Nutrition Research Reviews 10:83-114.
- González, C., A. Varo, T. Pineda, J. Olmo, R. Alcalá, J. Horcas y A. Jiménez. 2004. *Estudio de viabilidad de aplicación de la tecnología NIRS al control de calidad del aceite de oliva. Foro de la Industria y la calidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes*. Universidad de Córdoba. España. 12pp.
- Hodar, A.R., R.J. Vasava, D.R. Mahavadiya y N.H. Joshi. 2020. *Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review*. Journal of Experimental Zoology India 23 (1): 13-21.
- Huang H., H. Yu, H. Xu y Y. Ying. 2008. *Near infrared spectroscopy for on/ in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review*. Journal of Food Engineering 87 (3): 303-313.
- Huss, H.H., L. Ababouch y L. Gram. 2003. *Assessment and management of seafood safety and quality*, 1ª Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, Italia. 240 pp.
- Ikonen. L., F. Sotgiu, A. Aydinli y P.W.J. Verlegh. 2020. *Consumer effects of front-of-package nutrition labeling: an interdisciplinary meta-analysis*. Journal of the Academy of Marketing Science 48 (2): 360-383.
- Jiménez, P.T. 2007. *Identificación de harinas de yuca (Manihot esculenta Crantz) con alto contenido proteico mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)*. (Tesis de Maestría). Producción Animal Tropical, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 71pp.
- Kademi, H. I., B.H. Ulusoy y C. Hecer. 2019. *Applications of miniaturized and portable near infrared spectroscopy (NIRS) for inspection and control of meat and meat products*. In Food Reviews International 35 (3): 201-220.
- Liew, O.W., P.C.J. Chong, B. Li and A.K. Asundi. 2008. *Signature optical cues: emerging technologies for monitoring plant health*. Sensors 8 (5): 3205-3239.
- Loaiza, J.K y J.E. Larrondo. 2017. *Evaluación del contenido de amilasa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición 67 (1): 201756-61.
- Lúquez-Pérez, L del R y J.I. Hleap-Zapata. 2020. *Viabilidad del uso de harina de residuos pesqueros de la Ciénaga de Zapatosa en la alimentación de pollos de engorde*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient 23(2): e1202.



- Molano, M.L., L. Cortés, P. Ávila, S.D. Martens y L.S. Muñoz. 2016. *Near infrared spectroscopy (NIRS) calibration equations to predict nutritional quality parameters of tropical forages*. Trop Grasslands 4:139-145.
- Ospina, R.O., H. Anzola-Vásquez, O. Ayala-Duarte y A. Baracaldo-Martínez. 2020. *Validación de un algoritmo de procesamiento de imágenes Red Green Blue (RGB), para la estimación de proteína cruda en gramíneas y la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)*. Revista de Investigación Veterinaria del Perú 31(2): e17940.
- Pasquini, C. 2003. *Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications*. Journal of the Brazilian Chemical Society 14 (2): 198-213.
- Parra-Flores, A.M. 2020. *Estudio del crecimiento, preferencia alimentaria y digestibilidad de ingredientes vegetales y animales del langostino Macrobrachium americanum (Decapoda: Caridea: Palaemonidae)*. Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de: Doctora en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras. México. 74pp.
- Perea-Román, C., Y.J. Garcés-Caicedo, L.S. Muñoz-Arboleda, J.L. Hoyos-Concha y J.A. Gómez-Peñaranda. 2018. *Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de Oreochromis spp.* Revista de Biotecnología Agropecuaria y Agroindustrial 16 (1): 43-51.
- Pérez-Terrazas, D., J.R. González-Adrados y M. Sánchez-González. 2020. *Evaluación cualitativa y cuantitativa de anomalías de corcho utilizando espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS)*. Food Packaging and Shelf Life. 24pp.
- Rivera-Rivera, A. y J.M. Alba-Maldonado. 2017. *NIRS for analysing animal nutrition food: a review*. Revista ingenio UFPSO 13:199-21.
- Rivera-Rivera, A., M. Medina-Sierra y M.F. Cedrón-Muñoz. 2018. *Predicción de la composición química de alimentos de uso animal mediante NIRS: Aplicaciones e interpretación práctica*. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia. Fundación CIPAV. Colombia. 78pp.
- Sánchez, M.T., R. Márquez, I. Torres, D. Pérez-Marín y M.I. López. 2020. *Caracterización química de vinagres de vino pertenecientes a la denominación de origen protegida Vinagre de Montilla-Moriles, utilizando espectroscopia de infrarrojo cercano*. Métodos analíticos de alimentos 13:802-810.
- Shao, X., X. Bian, J. Liu, M. Zhang y W. Chai. 2010. *Multivariate calibration methods in Near Infrared Spectroscopic analysis*. Analytical Methods 11: 1662-1666.

- Shenk, J.S y M.O. Westerhaus. 1993. *Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy*. Monograph. Infracsoft International, Port Matilda, Pennsylvania. USA. 116pp.
- Sun, D.W. 2009. *Infrared spectroscopy for food quality analysis and control*. Academic Press / Elsevier, San Diego, California, USA. 415pp.
- Valenciaga, D y S.E.O. Simoes. 2006. La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes Revista Cubana de Ciencia Agrícola 3:259-267.
- Valenzuela, A., J. Sanhueza y F. de la Barra. 2012. *El aceite de pescado; ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional*. Revista Chilena de Nutrición 39(2): 201-209.
- Vásquez-Torres, W., M.I. Yossa y M.C. Gutiérrez-Espinosa. 2013. *Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama*. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 48 (8): 920-927.
- Williams, P y K. Norris. 2001. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food. Industries. American Association of Cereal Chemists*. Saint Paul, USA. 168pp.
- Woodcock, T., G. Downey y C.P. O'Donnell. 2008. *Review: Better quality food and beverages: the role of near infrared spectroscopy*. Journal of Near Infrared Spectroscopy 16 (1): 1-29.
- Wu, D., Y. He y S. Feng. 2008. Short-wave near-infrared spectroscopy analysis of major compounds in milk powder and wavelength assignment. Analytica Chimica Acta 610 (2): 232-42.
- Zossi, S., R.M. Ruíz, N. Sorol y M. Sastre. 2010. Espectroscopía por infrarrojo cercano (NIRS). Su aplicación en análisis de jugo de caña de azúcar. Revista. Industrial y Agrícola de Tucumán 87 (1): 1-6.



Cita

Lizárraga-Hernández F.D., Agüero-Fernández Y.M., Cortés-Jacinto E., Vega-Villasante F., Vargas-Ceballos M.A. T Martín-Manzo M.V. 2022. El uso del NIRS como alternativa viable en el análisis químico en dietas para alimento animal. Recursos Naturales y Sociedad, 2022. Vol. 8 (2): 19-34. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0003>

Sometido: 3 de junio de 2022

Revisado: 12 de julio de 2022

Aceptado: 18 de septiembre de 2022

Editor asociado: Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón. Editor Asociado

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Foto de portada de artículo: pexels-los-muertos-crew-8477741.jpg