

# Detección de proteína en leche de vaca usando interferometría

Abraham Gastélum-Barrios<sup>1</sup>, Genaro M. Soto-Zarazúa<sup>2</sup>, Edgar Rivas-Araiza<sup>3</sup> y Daniel Jauregui-Vazquez<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>abraham.gastelum@uaq.mx; <sup>2</sup>genaro.soto@uaq.mx; <sup>3</sup>erivas@uaq.mx; <sup>4</sup>jaureguid@ugto.mx

<sup>1,2 y 3</sup>División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

<sup>4</sup>Departamento de Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato  
México

## Resumen

El presente trabajo muestra, de manera experimental, un sistema de sensor óptico para detectar cambios de contenido de proteínas en muestras de leche de vaca de forma no invasiva. El arreglo óptico está conformado por un interferómetro de baja coherencia tipo Fabry-Perot que opera en respuesta de doble fase y reflexión de la luz en el espectro visible. Los resultados indican que el esquema es capaz de detectar pequeñas variaciones de proteína con un índice de correlación  $r^2 = 0.8604$ . El método propuesto representa una alternativa para detectar variaciones de proteína de manera no invasiva, de bajo costo, sin la necesidad de personal altamente capacitado y con la competencia de instalarse de manera portátil.

**Palabras clave** Fabry-Perot; sensor óptico de proteína; desplazamiento óptico; espectro de reflexión

## Abstract

*The present work shows, in an experimental way, an optical sensor system to detect changes detect changes in the protein concentration of milk samples in a noninvasive form. The optical schema has a low coherence Fabry-Perot interferometer working in double-phase on reflection mode in the visible wavelength range. The presented system is capable to detect small protein content variations with a correlation index  $r^2 = 0.8604$ . The method proposes a new alternative to detect protein variations in a non-invasive form, at low cost, without the use of highly trained personnel, and the viability to develop a portable system.*

**Keywords** Fabry-Perot; protein optical sensor; optical displacement; reflection spectrum

---

### Artículo arbitrado

---

Recibido:  
08 de septiembre de 2019

Aceptado:  
25 de septiembre de 2019

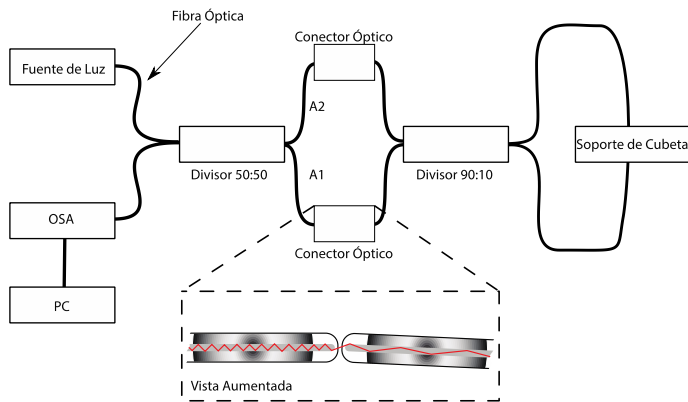
## Introducción

El contenido de proteína en leche de vaca es uno de los parámetros de calidad que caracterizan su valor nutricional, así como el precio en el mercado (Kucheryavskiy, Melenteva y Bogomolov, 2014). En los últimos desarrollos se pueden observar dos tendencias: por un lado, análisis químicos y, por el otro, el uso de instrumentos basados en la óptica. Los primeros, requieren del uso de agentes químicos, material y equipo especializado, así como de personal altamente capacitado; además, se consume mucho tiempo para realizar los análisis. Los segundos, están basados en la interacción de la luz con la leche (Aernouts et al., 2015; Kucheryavskiy et al., 2014; Li, Huo, Wang, Sun y Kong, 2016; Niero, Penasa, Gottardo, Cassandro y De Marchi, 2016). Dentro de la literatura se encontró que la espectroscopía es la técnica más adecuada para estudiar este fenómeno. La mayoría de los trabajos reportados estudian el espectro transmitido cuando la luz atraviesa la muestra líquida, en tanto que se relaciona la absorbancia con el contenido de proteínas. Aunque el método es ampliamente utilizado para otros compuestos químicos en medios ópticamente densos como la leche, se presenta un fenómeno llamado dispersión múltiple (Regnima et al., 2017); el cual, no es deseado al analizar espectros de transmisión ya que, al perder información, la cuantificación contiene errores. Al desarrollar sensores con fibras ópticas basados en espectroscopía, se pueden obtener mediciones con alta precisión (Gowri, Rajamani, Ramakrishna y Sai, 2019). Sin embargo, los trabajos reportados (García Mina et al., 2017; Gowri et al., 2019; Muñoz-Ossa, Reyes-Vera, Causado-Buevas, Lora-Jaramillo y Domínguez-Gómez, 2011) basan sus determinaciones en modulaciones por amplitud, las cuales son sensibles a curvaturas de la fibra o a variaciones en la fuente de luz. Por otro lado, el uso de interferómetros permite incrementar la sensibilidad en las mediciones. Estos pueden ser de cuatro tipos: Fabry-Perot (C. E. Lee y Taylor, 1991), Mach-Zehnder (Wang, Lv, Zhao y Qian, 2018), Michelson (Tian, Yam y Looock, 2008), y Sagnac (B. H. Lee et al., 2012).

En este artículo, se presenta la propuesta de un esquema de sensor basado en fibra óptica e interferómetro Fabry-Perot, capaz de detectar cambios en el contenido de proteína de leche bovina de manera no invasiva.

## Método

El esquema experimental se muestra en la Figura 1. Una fuente de luz de 450 nm a 850 nm es acoplada mediante un conector divisor de 3 dB 2x2 (TM200R5S2A, Thorlabs Inc., USA). Al atravesar el divisor, la luz es separada en dos ramificaciones: A1 y A2. La señal que viaja por A1, cruza un interferómetro de baja coherencia de tipo Fabry-Perot (FPI), conformado por dos conectores ópticos SMA905, en este punto se crea un desfaseamiento óptico de la señal, la cual nos permite generar un espectro de interferencia y aumentar la sensibilidad del sistema de sensor óptico (Gowri et al., 2019). La luz transmitida se acopla a un segundo divisor óptico 90:10 2x2 (TM105R2S2A, Thorlabs Inc., USA). Este conector crea un lazo con un soporte para cubeta de cuarzo en el centro, donde la muestra de leche será colocada. La interacción de la luz con las distintas muestras de leche generará un espectro transmitido y uno reflejado que, en conjunto con la diferencia de fase causada por el FPI, serán recolectadas por el analizador de espectros ópticos (OSA) (USB2000+, Ocean Optics Inc., USA) y examinadas con una computadora personal (PC). Ya que se está trabajando con un medio ópticamente turbio (leche de vaca), el fenómeno de múltiple dispersión se presenta en los espectros de transmisión (Regnima et al., 2017). Para evitar esto, el esquema está configurado para obtener los espectros de reflexión.



**Figura 1.** Diagrama esquemático del interferómetro. Fuente: elaboración propia.

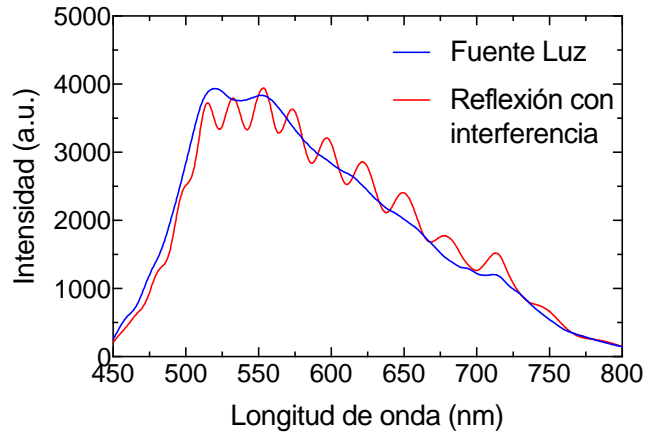
Las muestras de leche, utilizadas para probar el esquema propuesto, fueron recolectadas de 16 vacas de manera manual y refrigeradas a 4 °C. Un día después de la recolección, las muestras fueron calentadas a 37 °C, que es aproximadamente la temperatura de la leche al salir de la vaca (Bylund, 1995). Posteriormente, fueron homogenizadas durante 20 minutos (Bransonic 2800 MH, Branson Ultrasonic, USA); se analizó el contenido de grasa y proteína utilizando un analizador comercial (Lactoscan S, Milkotronic Ltd., Bulgaria). Para demostrar el funcionamiento del esquema, se utilizaron seis muestras de leche, de acuerdo con que la variación de grasas fuera pequeña (Tabla 1).

Muestra	Proteína (%)	Grasa (%)
P1	2.93	1.98
P2	3.02	1.99
P3	3.03	1.66
P4	3.21	2.16
P5	3.24	2.06
P6	3.25	2.12

**Tabla 1.** Muestras de leche utilizadas en el experimento. Fuente: elaboración propia.

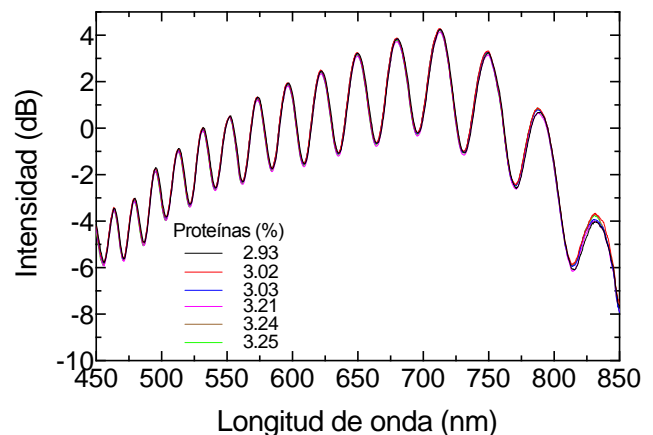
## Resultados

La respuesta del sistema de sensado, se muestra en la Figura 2. Se puede observar que la señal reflejada de la fuente con la interferencia generada presenta una oscilación con un rango espectral libre mínimo de 17.77 y máximo de 35.13 nm.



**Figura 2.** Respuesta espectral del esquema de interferómetro Fabry-Perot implementado. Fuente: elaboración propia.

El interferograma resultante arrojado por el sistema está mostrado en la Figura 3. Se puede destacar que los espectros de cada muestra de leche mantienen un mismo comportamiento a través de todo el rango visible.



**Figura 3.** Interferograma de la señal de reflexión de las distintas muestras de leche. Fuente: elaboración propia.

Es posible destacar en la Figura 4, mediante un acercamiento al área entre de 496 y 505 nm, que, a medida que aumenta el contenido de proteínas, los espectros de reflexión se desplazan hacia la izquierda. Con esto podemos asegurar que el sistema óptico implementado es capaz de detectar cambios en el espectro de reflexión en el rango visible de la luz y relacionarlos con su contenido de proteínas.

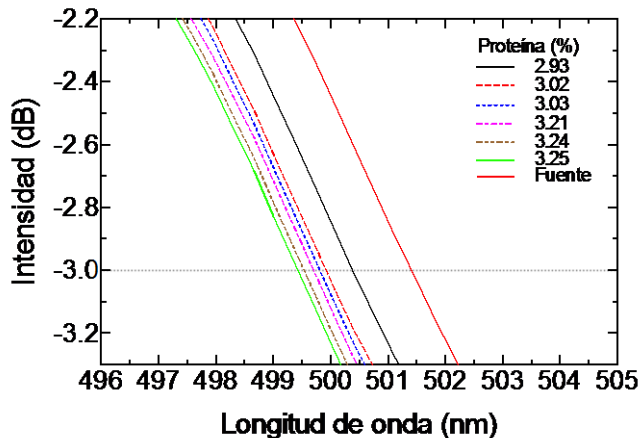


Figura 4. Desplazamiento de los espectros de reflexión del interferograma. Fuente: elaboración propia.

Con el fin de determinar la correlación que tiene el sistema de detección, a través del uso del desplazamiento que existe entre la fuente de luz y las distintas muestras de leche, se toma a una intensidad constante (-3 dB), la longitud de onda. Los resultados se muestran en la Figura 5. Se obtuvo un índice de correlación  $r^2 = 0.8604$ .

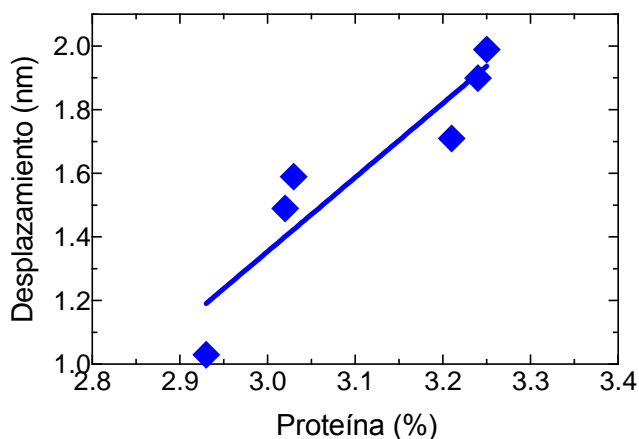


Figura 5. Desplazamientos entre la fuente de luz y los porcentajes de proteína a -3 dB. Fuente: elaboración propia.

## Discusión y Conclusiones

El sistema implementado introduce a un nuevo método para la detección de proteínas en muestras de leche de vaca. Los resultados muestran que el sistema es capaz de detectar pequeños cambios en la concentración de proteínas, basado en espectros de reflexión en el rango visible de la luz. Mediante el uso del desplazamiento que existe entre la fuente de luz como referencia y las muestras de leche, es

posible detectar cambios en la concentración de proteínas con un índice de correlación  $r^2 = 0.8604$ . Es necesario realizar más pruebas al sistema, utilizando variaciones de proteínas más alejadas, ya que las muestras disponibles contenían una variación de menos del 1 %.

Este trabajo muestra la capacidad de utilizar un interferómetro Fabry-Perot para detectar pequeños cambios en la concentración de proteínas de leche de vaca. Con esta nueva metodología, es posible iniciar con el desarrollo de tecnologías para la detección no invasiva, que permita evitar el uso de reactivos químicos, personal altamente capacitado y, en general, de laboratorios especializados.

## Referencias

- Aernouts B., Van Beers R., Watté R., Huybrechts T., Lammertyn J. y Saeys W. (2015). Visible and near-infrared bulk optical properties of raw milk. *Journal of Dairy Science*, 98(10), pp. 6727–6738. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9630>
- Bylund G. (1995). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak processing systems AB. Sweden: Lund.
- García Mina D., Haus J.W., Chong A., Khanolkar A., Sarangan A. y Hansen K. (2017). Bi-tapered fiber sensor using visible to near infrared light. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 263, pp. 285–290. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.06.017>
- Gowri A., Rajamani A.S., Ramakrishna B., y Sai V.V.R. (2019). U-bent plastic optical fiber probes as refractive index based fat sensor for milk quality monitoring. *Optical Fiber Technology*, 47, pp. 15–20. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2018.11.019>
- Kucheryavskiy S., Melenteva A., y Bogomolov A.. (2014). Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging. *Talanta*, 121, pp. 144–152. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.12.055>
- Lee B.H., Kim Y.H., Park K.S., Eom J.B., Kim M.J., Rho B.S. y Choi H.Y. (2012). Interferometric fiber optic sensors. *Sensors*, 12(3), pp.2467–2486. Doi: <https://doi.org/10.3390/s120302467>
- Lee CE. y Taylor HF. (1991). Fiber-optic Fabry-Perot temperature sensor using a low-coherence light source. *Journal of Lightwave Technology*, 9(1), pp. 129–134. Doi: <https://doi.org/10.1109/50.64932>
- Li X., Huo G., Wang Y., Sun H. y Kong Q. (2016). Research on rapid detection method of protein and fat in raw milk based on mid-infrared spectrum. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(10), pp. 131–142. Doi: <https://doi.org/10.14257/ijmue.2016.11.10.12>
- Muñoz-Ossa H.A., Reyes-Vera E., Causado-Buelvas J.D., Lora-Jaramillo G.J., y Domínguez-Gómez D.M. (2011). Medición del Porcentaje De Grasa En Leche Líquida Usando “Tapers” de

- Fibra Óptica. *Revista Colombiana de Física*, 43(3), pp. 925-928.
- Niero G., Penasa M., Gottardo P., Cassandro M., y De Marchi M. (2016). Short communication: Selecting the most informative mid-infrared spectra wavenumbers to improve the accuracy of prediction models for detailed milk protein content. *Journal of Dairy Science*, 99(3), pp. 1853–1858. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10318>
- Regnima G-O, Koffi T, Bagui O, Kouacou A, Kristensson E, Zoueu J, y Berrocal E. (2017). Quantitative measurements of turbid liquids via structured laser illumination planar imaging where absorption spectrophotometry fails. *Applied Optics*, 56(13), pp. 3929–3938. Doi: <https://doi.org/10.1364/AO.56.003929>
- Tian Z, Yam SSH, y Loock HP. (2008). Single-mode fiber refractive index sensor based on core-offset attenuators. *IEEE Photonics Technology Letters*, 20(16), pp. 1387–1389. Doi: <https://doi.org/10.1109/LPT.2008.926832>
- Wang S na, Lv R qing, Zhao Y, y Qian J kai. (2018). A Mach-Zehnder interferometer-based High Sensitivity Temperature sensor for human body monitoring. *Optical Fiber Technology*, 45(May), pp. 93–97. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2018.07.001>