



Artículos de Divulgación

Identificación de alimentos adulterados mediante espectroscopia de infrarojo

Pedro Martín Mondragón Cortez y José Armando Ulloa

Antecedentes

La adulteración de los alimentos es una problemática actual, pero también es un viejo problema que comenzó con el comercio de mercancías desde la antigüedad, ya que desde entonces se vendía “gato por liebre”. En Babilonia, el rey Hammurapi alrededor del año 1750 a. C. prohibió la venta de cerveza adulterada (rebajada con agua). El castigo por venderla era atar al infractor y lanzarlo al río Éufrates. Los romanos evitaban la adulteración de vinos creando estrictos reglamentos de comercio. La adulteración de alimentos tuvo un auge importante a partir del siglo XIX, debido a la revolución industrial, la cual provocó el procesamiento a gran escala de alimentos empaquetados y enlatados.

Sin embargo, en la actualidad se sigue practicando la adulteración en diversos tipos de alimentos y bebidas, y su objetivo básicamente es sustituir materias primas o compuestos originales por otros similares, pero más baratos y de menor calidad. Esta trampa se hace con el propósito de lograr mayores ganancias por parte de productores o vendedores de materias primas a expensas del bolsillo de los consumidores, y en no pocas ocasiones poniendo en riesgo su salud. Por ejemplo, un caso muy conocido de adulteración es aumentar el volumen de leche de vaca con agua.

Recientemente, en 2008, llamó la atención la adulteración de leche en polvo para niños en China. La leche contenía un compuesto llamado melamina, el cual se utilizó para aparentar mayor contenido de proteína. Este tipo de adulteración enfermó a cerca de 300,000 infantes y causó alrededor de 15 muertes. A nivel mundial otro de los casos más famosos y escandaloso, por los riesgos para la salud que implicó, fue la adulteración en España de aceite de oliva con un compuesto químico llamado anilina. El resultado de esta adulteración fue la intoxicación de cerca de 20,000 personas, de las cuales 400 murieron. En Austria se utilizó el etilen glicol para adulterar vino, con el propósito de darle mayor cuerpo. Incluso, en los anaqueles de los países compradores de este vino, éste permaneció por más de 10 años. Un caso actual de adulteración se presenta en los jugos de frutas. Por ejemplo, en el jugo de naranja los principales azúcares son glucosa, sacarosa y fructosa en una proporción de 1:2:1. El azúcar invertido tiene esta composición, lo cual la hace ser un adulterante ideal. Además, se deben de agregar algunos ácidos artificiales, presentes en forma natural en el jugo de naranja, para mantener la proporción normal azúcar/ácido.

En México, se han presentado casos conocidos de adulteración en alimentos. La carne utilizada para elaborar hamburguesas y chorizo ha sido adulterada con carne de caballo, la cual es más barata. Además, al no estar regulado su consumo la carne de caballo puede ser producida en condiciones sanitarias no favorables poniendo en riesgo la salud de los consumidores. Otro caso de adulteración que frecuentemente se da a conocer en los medios masivos de comunicación es del tequila. La adulteración del tequila se debe principalmente a la adición de alcohol (etanol) proveniente de otras fuentes más baratas, habitualmente de caña de azúcar con el propósito fundamental de aumentar su volumen. El tequila puro proviene del *Agave tequilana* Weber variedad azul, como producto de su proceso de elaboración (cocimiento-fermentación-destilación).

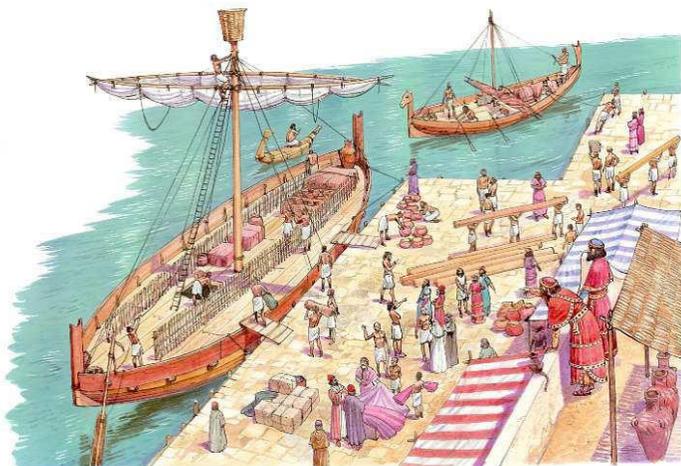


Figura 1. En la antigüedad los babilonios, estupendos comerciantes, ya tenían códigos para castigar la adulteración en alimentos.

Otro problema asociado con la adulteración de alimentos es la pérdida de buena reputación de algún producto con denominación de origen o regional elaborado honestamente, debido a que fue elaborado deshonestamente por un solo productor. Por ejemplo, el queso producido en Wisconsin (USA) fue adulterado con una grasa más barata (manteca de cerdo). Este tipo de queso tiene gran demanda en el Reino Unido, pero cuando se descubrió el fraude, solamente en algunos quesos, la venta disminuyó dramáticamente, lo que afectó a los productores honestos en Wisconsin. La buena reputación de los quesos tardó 20 años en ser recuperada.

La adulteración de alimentos también puede tener una connotación religiosa. En algunas culturas no se consumen productos de ciertos animales, los judíos y los islámicos tienen prohibido consumir carne y derivados de cerdo. La manteca de cerdo ha sido utilizada con frecuencia para sustituir grasas vegetales originales en diferentes tipos de chocolates.

¿Cómo se detectan las adulteraciones?

En 1820, el químico alemán Frederick Accum fue el primero en poner en alerta la problemática de la adulteración de alimentos en su libro *Treatise on Adulteration of Food and Culinary Poisons*, desde entonces ha venido creciendo la atención en desarrollar métodos de prueba para detectar la adulteración en diversos alimentos.

Sin embargo, detectar alimentos y bebidas adulterados no es una tarea sencilla porque generalmente los adulterantes utilizados tienen una composición química parecida a los contenidos en el producto auténtico. Por lo tanto, la disponibilidad de métodos analíticos rápidos y precisos que puedan ayudar a detectar las adulteraciones, desempeñan actualmente un papel fundamental en la identificación de este problema. Debido a la sofisticación que han alcanzado las adulteraciones en la actualidad, las metodologías tradicionales de medición (por ejemplo: azúcares totales, pH, °Bx, conductividad eléctrica, % de humedad, etc.) resultan en estos momentos insuficientes ya que no permiten identificar en forma precisa y rápida el origen de los adulterantes. En vista de lo anterior, se han desarrollado en los últimos años metodologías innovadoras que ayudan a la detección de este problema.

Actualmente, a nivel mundial existen organismos reguladores que brindan apoyo y dan directrices para detectar diversos tipos de adulteraciones en alimentos, como la FDA (*Food and Drug Administration*) de los Estados Unidos o el *Codex Alimentarius International*. Estos organismos a menudo recomiendan hacer uso de una serie de técnicas

altamente especializadas para investigar posibles adulteraciones en alimentos. El desarrollo de sistemas instrumentales más exactos y confiables, sumado al desarrollo en las técnicas estadísticas y computacionales, ha favorecido el desarrollo de metodologías analíticas innovadoras que presentan un alto grado de exactitud en la identificación de alimentos adulterados, como son la calorimetría diferencial de barrido, la cromatografía de gases, la cromatografía de líquidos de alta presión, la resonancia magnética nuclear, métodos basados en DNA y la espectroscopia de infrarrojo. Hay que mencionar que el desarrollo de las técnicas señaladas tuvo lugar en las décadas de los años 50's, 60's y 70's del siglo XX, las cuales se modernizaron a partir de los años 90's del mismo siglo, principalmente debido al uso de sistemas computacionales que las convirtieron en más amigables y fáciles de utilizar. Idealmente, las técnicas de identificación de adulteración deben ser rápidas, fáciles de usar y con un costo bajo. Muchas de las técnicas analíticas arriba mencionadas son costosas y en la mayoría requieren a menudo un complicado proceso de preparación de la muestra. Sin embargo, una de ellas, la técnica de espectroscopia de infrarrojo ha sido considerada por investigadores de diferentes partes del mundo como una herramienta rápida, precisa, relativamente económica y no contaminante en el estudio de identificación de alimentos y bebidas adulteradas.

La espectroscopia de infrarrojo y su uso en la detección de adulteraciones

Si bien las técnicas de análisis evolucionan día con día, es difícil contar con una técnica única y universal que garantice con un 100 % de seguridad la determinación de la adulteración de alimentos. Sin embargo, es mundialmente conocida la técnica de espectroscopia de infrarrojo o IR (del inglés *infrared*) que goza actualmente de la preferencia de centros de investigación y laboratorios dedicados a la identificación de alimentos adulterados, debido principalmente a que es una herramienta analítica con alta precisión en sus resultados, la muestra por analizar requiere a menudo de una mínima preparación, es un análisis muy rápido (entre 20 y 90 s), es un método no destructivo y, además, es una técnica amigable con el medio ambiente, ya que no utiliza solventes contaminantes en su medición. La técnica de IR presenta también la ventaja de analizar muestras líquidas y sólidas, incluso muestras en estado gaseoso.

La técnica de IR proporciona información acerca de vibraciones en las moléculas de una muestra (un alimento, por ejemplo), las cuales se generan al atravesar una muestra de alimento con un rayo o radiación en la longitud de onda de infrarrojo (0.78-15.0 μm). El equipo que efectúa la medición se llama espectrómetro de infrarrojo. Este

instrumento básicamente consta de una fuente que produce el rayo infrarrojo, un detector y una serie de espejos fijos y móviles que guían el rayo hasta un contenedor donde se encuentra la muestra que va a ser analizada (Figura 2). Al interaccionar la radiación con la muestra, parte de ella es absorbida, lo que provoca vibraciones a nivel molecular. Este fenómeno se representa en forma de resultado como un gráfico conocido como espectro de infrarrojo. En un espectro podemos observar picos de absorción a frecuencias específicas que corresponden a las frecuencias de vibración en los diferentes enlaces atómicos que son susceptibles a generar vibraciones en un particular tipo de muestra, por ejemplo enlaces tipo C-H, C-O o C-N (ver Figura 3). Sin embargo, a menudo es difícil observar diferencias por medio de una rápida comparación visual entre espectros de alimentos auténticos y adulterados. Por esta razón, hoy en día, y dado el avance en los sistemas computacionales, se utiliza la información obtenida en un espectro de IR (en forma de datos numéricos) en combinación con técnicas de análisis de datos para detectar la adulteración en alimentos o bebidas. Estas técnicas son conocidas como químico-métricas (en inglés, conocidos como chemometrics), y utilizan los principios matemáticos del álgebra de matrices y de la estadística para generar la separación entre grupos de muestras con características comunes, por ejemplo entre muestras alimenticias con y sin adulteración, utilizando datos numéricos provenientes de los resultados obtenidos de una técnica analítica en particular.

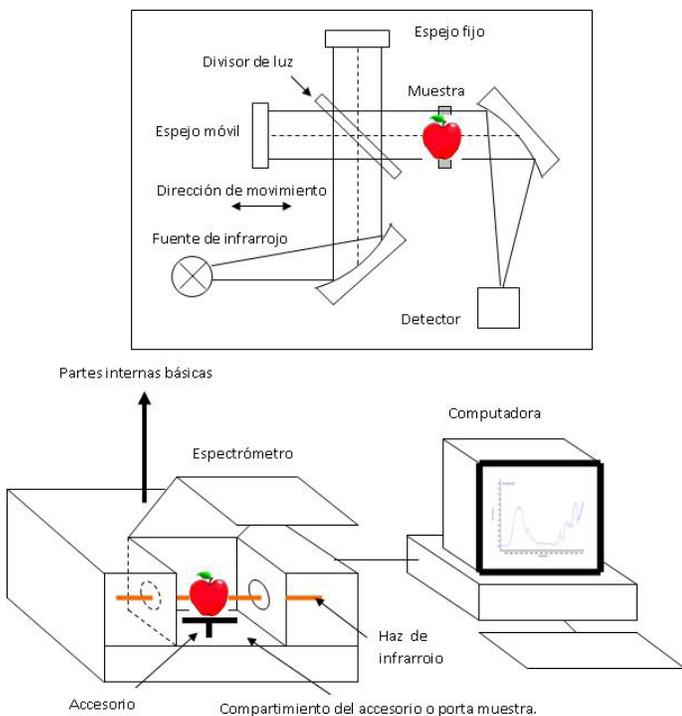


Figura 2. Representación gráfica de los componentes principales de un espectrómetro de infrarrojo.

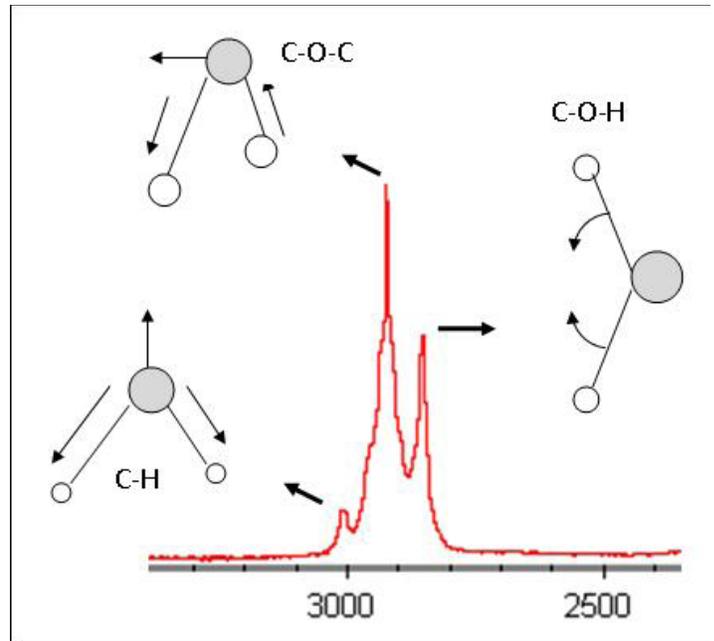


Figura 3. Representación gráfica del significado de un espectro de infrarrojo. Cada pico representa un tipo de vibración en determinados enlaces atómicos en una muestra, como consecuencia de la absorción de energía en infrarrojo a una determinada frecuencia.

A continuación se mencionan algunos datos relevantes sobre la aplicación de la técnica de IR en conjunto con las metodologías químico-métricas para la identificación de adulteraciones en alimentos y bebida. En los productos cárnicos el principal problema abordado ha sido la detección de diferentes tipos de carnes que no son declaradas por parte del fabricante, por ejemplo, en carne para hamburguesas o la falsedad en la declaración del contenido en mezclas de carne de cordero, pavo o res. En la detección de aceites adulterados la técnica de IR ha sido utilizada con éxito, principalmente en la identificación de aceite de oliva adulterado con aceites de maíz, soya o ajonjolí, los cuales son mucho más baratos que el aceite de oliva. En el caso de jugos de frutas la principal aplicación estudiada ha sido la identificación de azúcares artificiales, principalmente fructosa y azúcar invertido, y aditivos diversos a jugos de frutas originales. Otra fuerte aplicación de la técnica de IR ha sido en productos lácteos, en los cuales se ha logrado detectar proteínas y grasas ajenas a los contenidos originales de quesos y de leche fluida o en polvo.

Un ejemplo de identificación de adulteración por IR

La adulteración de la miel de abeja desafortunadamente es un hecho frecuente utilizando azúcares similares a los contenidos en su concentración natural. Los principales azúcares adulterantes de la miel de abeja han sido principalmente la fructosa de maíz o el azúcar invertido. Detectar

esta adulteración es difícil por IR debido a que los espectros de las mieles de abeja puras (en este caso, procedentes del estado de Nayarit, México) y las adulteradas no difieren prácticamente en nada, tal y como se puede observar en sus respectivos espectros de IR (ver Figura 4). En estos espectros los principales picos provienen de las moléculas de los diferentes azúcares de la miel de abeja, principalmente de la fructosa y glucosa, específicamente de vibraciones en sus enlaces atómicos, por ejemplo de C-H, C-H-O o C-O-C. Pero afortunadamente cuando una serie de espectros (sus datos numéricos) de mieles puras y adulteradas con jarabe de fructosa son tratados por técnicas químico-métricas, se obtiene como resultado una diferenciación contundente entre los dos grupos de muestras.

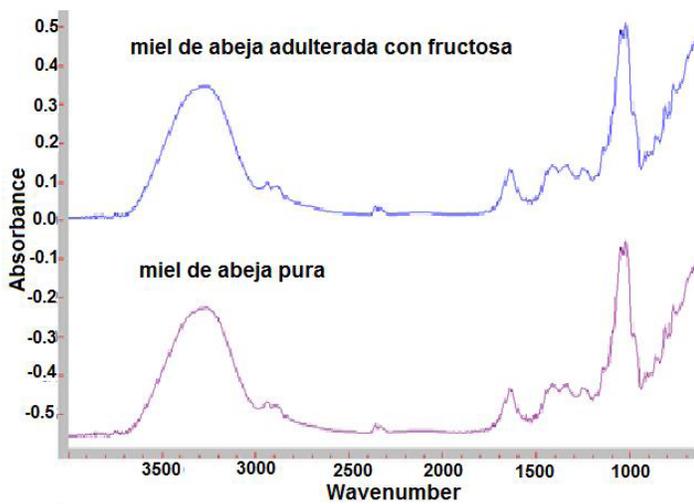


Figura 4. Espectros de infrarrojo de miel pura y miel adulterada con jarabe de fructosa.

La Figura 5 muestra el gráfico de la separación de dos grupos de muestras utilizando el análisis químico-métrico de los componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés). Un grupo corresponde al de las muestras de mieles de abejas puras y el otro grupo corresponde al de mieles de abeja adulteradas con jarabe de fructosa. Las muestras agrupadas presentan una similar composición química, mientras que las muestras agrupadas en otra parte del gráfico son también similares pero difieren definitivamente del otro grupo.

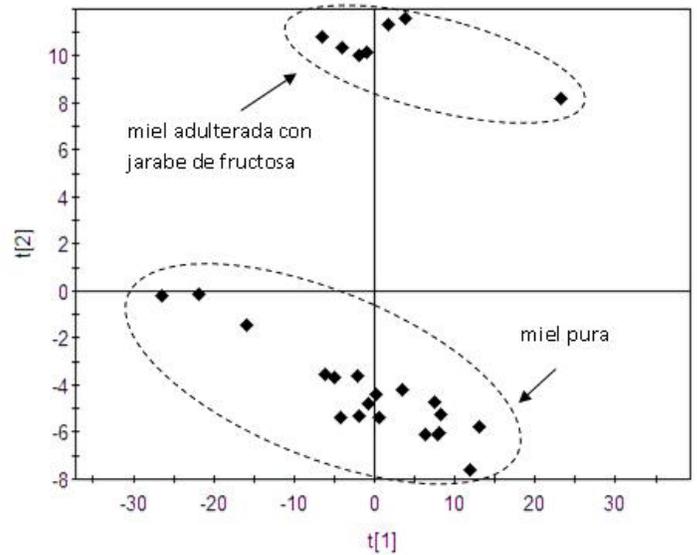


Figura 5. Representación gráfica de la separación entre miel de abeja pura y miel de abeja adulterada utilizando métodos químico-métricos basados en espectros de infrarrojo (cada punto representa un espectro).

Investigación de adulteración en alimentos en la UAN

Sin lugar a duda, el éxito en la lucha contra el fraude, producto de adulteraciones en los alimentos, estará asegurado si se fomenta el desarrollo del conocimiento y de la tecnología para su aplicación en la detección y solución de este problema. Por esta razón, en la UAN, en conjunto con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ), se está llevando a cabo el estudio de posible adulteración en miel de abeja producida en diferentes municipios del estado de Nayarit, esto, en el marco del proyecto "Caracterización fisicoquímica y sensorial de miel de abeja producida en el estado de Nayarit para la obtención de índices de calidad", apoyado por Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Nayarit, según convenio número 92632. Los resultados obtenidos hasta el momento, utilizando la técnica de espectroscopía de infrarrojo, han mostrado que la miel de abeja adquirida en los diferentes municipios del estado de Nayarit es legítima.

BIBLIOGRAFÍA

Van de Voort, F., R. 1992. Fourier transform infrared spectroscopy applied to food analysis, Food Research International. 25: 397-403.

Irudayaraj, J., Xu, E., Tewari, J. 2003. Rapid determination of invert cane sugar adulteration in honey using FTIR spectroscopy and multivariate analysis. Journal of Food Science. 68: 2040-2045.

Coates, J. 2000. Interpretation of Infrared spectra, A practical approach. Encyclopedia of Analytical Chemistry, R. A. Meyers (Editor), 10815-10837, Chichester, England.

Pataca, L., Borges Neto, W., Marcucci, M. C., Poppi, R. J. 2007. Determination of apparent reducing sugars, moisture and acidity in honey by attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectrometry. Talanta. 71:1926-1931.

Jackson, L. S. 2009. Chemical food safety issues in the United States: Past, present and future. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57: 8161-8170.

McGorin, R. J. 2009. One hundred years of progress in food analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57: 8076-8088.

Stuart, B. 2004. Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications. Wiley and Sons, Inc. Chichester, England.

Dennis, M. J. 1997. Establishing food authenticity. Chemistry and Industry. 15: 997-999.

Barnes, P. J. 1996. Adulteration and fraud threaten safety. Nutrition and Food Science. 4: 23-26.

Flores-Munguía, M. E., Bermudez-Almada, M. C., Vázquez-Moreno, L. 2000. Detection of adulteration in processed traditional meat products. Journal of Muscle Foods. 11: 319-325.

Datos de los autores:

Dr. Pedro Martín Mondragón Cortez
Investigador
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología
y Diseño del Estado de Jalisco,
A. C. (CIATEJ, A. C.).
Guadalajara, Jalisco. México
E - mail: pmondragon@ciatej.net.mx

Dr. José Armando Ulloa
Profesor - Investigador
Coord. del Cuerpo Académico de Tecnología de Alimentos
Universidad Autónoma de Nayarit.
Tepic, Nayarit. México
E - mail: arulloa5@gmail.com

