



IX congresso ibérico de
AGROENGENHARIA 2017

4 a 6 de setembro
Bragança – Portugal

Evaluación espectroscópica de un nuevo producto a base de pulpa de café

Belén Diezma¹, Eva C. Correa, Virginia Díaz-Barcos³, César A. Echeverry⁴, Beatriz Meneses⁴,
Ricardo Oteros⁴

¹ Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, LPF_TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, belen.diezma@upm.es

² LPF_TAGRALIA, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, evacristina.correa@upm.es

³ Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, ETSI Agronómica Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, av. Puerta de Hierro 2, 28040 Madrid, España, virginia.diaz@upm.es

⁴ SUPRACAFÉ, S.A. Polígono Industrial Prado de Regordoño, C/ Torres Quevedo, 15, 28936 Móstoles, Madrid, España

Resumen

En este trabajo se ha explorado la implementación de la espectroscopia visible (VIS) e infrarroja (NIR) y de la imagen hiperespectral en el rango VIS-NIR (400-1000 nm) para la evaluación de la pulpa de café deshidratada. La espectroscopia NIR ha mostrado su potencial para la segregación de muestras de pulpa con diferentes contenidos en humedad. Tanto la espectroscopia VIS como la imagen hiperespectral han mostrado su viabilidad para identificar el producto como de pulpa roja o amarilla o a una mezcla de ambas, a pesar de que en el producto deshidratado dejan de percibirse los tonos rojos o amarillos. Las herramientas quimiométricas aplicadas desvelan que las regiones del espectro entre 400 y 500 nm, banda de absorción de carotenos, y entre 500 y 535 nm, región de absorción relacionada con las antocianinas, son las más significativas en los modelos de clasificación, lo que indica que la espectroscopia visible es capaz de percibir cualitativamente las posibles diferencias en los patrones de pigmentos presentes en la pulpa deshidratada de las variedades rojas y de las variedades amarillas.

Palabras clave: Imagen hiperespectral, Espectroscopia VIS/NIR, Revalorización subproductos, Subproductos café

Spectroscopic evaluation of a new product of coffee pulp cherry

Abstract

In this work we have explored the implementation of visible spectroscopy (VIS) and infrared (NIR) and hyperspectral imaging in the VIS-NIR range (400-1000 nm) for the evaluation of dehydrated coffee pulp. NIR spectroscopy has shown its potential for the segregation of pulp samples with different moisture contents. Both the VIS spectroscopy and the hyperspectral image have shown their viability to identify the product as red or yellow pulp or a mixture of both, although the red or yellow tones are no longer perceived in the dehydrated product. The applied chemometric tools reveal that the regions of the spectrum between 400 and 500 nm, carotene absorption band, and between 500 and 535 nm, absorption region related to the anthocyanins, are the most significant in the classification models, indicating That the visible spectroscopy is able to qualitatively perceive the possible differences in the pigment patterns present in the dehydrated pulp of the red varieties and of the yellow varieties.

Keywords: Hyperspectral imaging, VIS/NIR spectroscopy, Valorization of food processing by-products, Coffee by-products

1. Introducción

El café, producto cultivado en unos 80 países de las regiones tropicales y subtropicales, constituye el segundo mercado más importante después del petróleo. Entre 2000 y 2012 se produjo un aumento de la producción de café en verde de casi un 17%, probablemente debido a la mejora de las producciones superficiales de las variedades cultivadas (Campos-Vega et al., 2015). La importancia económica del café es debida fundamentalmente a su consumo como bebida, una infusión preparada a partir de los granos tostados y molidos. La mayor parte del café consumido corresponde a las especies *Coffea arabica* (tipo Arábica) y *Coffea canephora* (tipo Robusta); la primera es considerada de mayor calidad debido a sus propiedades organolépticas y alcanza precios superiores en los mercados internacionales (Esquivel y Jiménez, 2012).

Para separar la semilla de la pulpa, se utiliza un término que se conoce como beneficio del café. Este proceso puede llevarse a cabo por vía húmeda o por vía seca e incluye todas aquellas operaciones que eliminan la pulpa, mucílago y pergamino, dejando los granos de café en verde listos para ser tostados. Estos procesos van acompañados de abundantes subproductos que, hasta hace poco, se habían considerado como desechos: pulpa, mucílago, aguas de lavado y pergamino. Las grandes cantidades de estos materiales que se generan durante el procesado de café, generan un enorme problema medioambiental y representan un claro riesgo de contaminación en los países productores. De ahí la necesidad de tratarlos, valorizarlos y plantear soluciones tecnológicas económicamente viables que permitan minimizar su producción y optimizar sus posibles aprovechamientos.

Una de las primeras etapas en el procesado húmedo del café es el despulpado. En esta operación se elimina mecánicamente el epicarpio del fruto junto con parte del mesocarpio, obteniéndose un subproducto que se conoce como pulpa. La pulpa es un material fibroso mucilaginoso que constituye aproximadamente el 42% del peso del fruto; es rica en carbohidratos y proteínas, y contiene además cantidades apreciables de minerales, potasio, taninos, cafeína y polifenoles totales, lo que permite considerarla como potencial fuente de antioxidantes. Su contenido en agua supone aproximadamente el 79% de su peso (Marín-López et al., 2003). La pulpa es, por tanto, uno de los principales subproductos, tanto por el volumen como por los problemas ambientales que origina en las zonas de producción. Se dice café lavado, al que se obtiene por vía húmeda, ya que tras el despulpado son sometidos a una operación de fermentación natural para la eliminación del mucílago adherido a la semilla. Dicha fermentación favorece la licuefacción del mucílago que acaba por liberarse del grano mediante una operación posterior de lavado, que es la que da nombre a estos tipos de cafés (Figura 1).

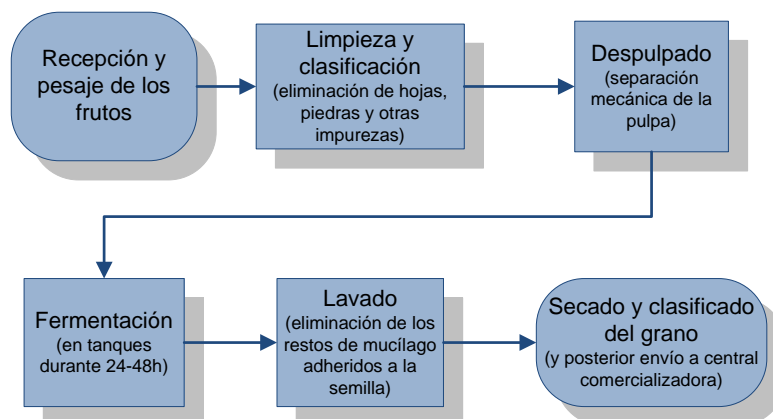


Figura 1. Diagrama de flujo general de procesado de café por vía húmeda en beneficiadero (modificado de Raichle et al., 2012)

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto promovido por la empresa SUPRACAFÉ, que procesa cafés de alta calidad de la especie arábica, tratados en su mayor parte por la vía húmeda

y con garantía de origen y de productor. Desde 2012, la empresa desarrolla un proyecto comercial de investigación y producción explorando la puesta en valor de nuevas variedades de café en colaboración con su filial SUPRACAFE COLOMBIA en la región del Cauca. Es en el seno de esta alianza donde surge la iniciativa de tratar de revalorizar la pulpa de café, mediante su deshidratado en origen y su posterior exportación.

Con los objetivos de ampliar su oferta de productos y mejorar las condiciones de los procesos productivos en los países de origen, SUPRACAFÉ evalúa el potencial de la pulpa de café deshidratada procedente de distintas variedades de café de pulpa roja o pulpa amarilla para ser utilizada como sustrato base en la elaboración de distintos tipos de infusiones. La evaluación rápida y no destructiva de las condiciones de deshidratado y del color de la pulpa de café deshidratada a su llegada a la industria, permitiría establecer categorías según el color y su homogeneidad y adoptar decisiones acerca del procesado posterior del producto. El objetivo del presente trabajo es estudiar el potencial de la espectroscopia VIS/NIR y la imagen hiperespectral (400-1000 nm) para la inspección y categorización de pulpa de café deshidratada.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales: material vegetal y equipos

El material vegetal analizado en este trabajo consiste en pulpa de café desecada, obtenida en origen en Colombia en la finca Los Naranjos (SUPRACAFÉ COLOMBIA, región del Cauca), mediante despulpado mecánico o manual y secado sobre plataformas perforadas elevadas bajo cubierta, que fueron enviadas desde Colombia a España, en dos ocasiones a lo largo de la campaña, en pequeños envases (Figura 2).



Figura 2. Pulpa de café durante el proceso de deshidratado en la finca Los Naranjos (izquierda) y presentación de la muestra de pulpa deshidratada para las determinaciones espectroscópicas en el laboratorio de la UPM para (derecha)

La adquisición de espectros e imágenes hiperespectrales se realizó en 4 días de ensayo. En la Tabla 1 se incluye la descripción de los ensayos, señalando si la muestra corresponde al envío 1 o 2, los días transcurridos entre la recepción del material y el ensayo, las variedades analizadas, el procedimiento de despulpado (manual o a máquina, h y M, respectivamente), y la humedad de las muestras. Con la finalidad de verificar el efecto que el contenido en humedad tiene en las determinaciones, en el Ensayo 3, las muestras se midieron antes y después de llevarlas a peso seco mediante desecación en estufa.

La adquisición de imágenes hiperespectrales se realizó con un equipo de barrido (*push broom*) que consiste en una cámara de tipo CCD (Andor Luca) equipada con un espectrógrafo Headwall Photonics HyperspecTM VNIR que trabaja en el rango espectral comprendido entre 400 y 1000 nm. La adquisición y el almacenamiento de la imagen se configura en un PC a través de una aplicación informática específica Headwall HyperespecTM. La iluminación es suministrada por dos lámparas halógenas cuya intensidad puede regularse mediante una fuente de alimentación variable. La luz es transmitida a través de un cable de fibra óptica hasta un reflector de luz lineal. La muestra se coloca sobre una plataforma que se desplaza gobernada por un controlador de posicionamiento y movimiento de precisión con motor AC (Micos-MOCO).

Ensayo	Variedades analizadas	Características del producto
1 Envío 1 Día 0	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad
2 Envío 1 Día 45	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo (M)	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad
3 Envío 1 Día 55	Caturro amarillo (M) Caturro rojo (M) Castillo rojo (M) Tabi rojo (M) Típica amarillo (M)	Despulpado a máquina (M) Humedad según procesado en origen + producto deshidratado hasta peso constante 6 repeticiones/variedad y nivel de humedad
4 Envío 2 Día 0	Típica amarillo (h y M) Tabi rojo (M) Borbón rojo (h) Caturro amarillo (h) Caturro rojo (M)	Despulpado a mano (h) y a máquina (M) Humedad según procesado en origen 6 repeticiones/variedad

Tabla 1. Resumen de los ensayos realizados sobre pulpa de café y características del producto estudiado.

Los espectros se adquirieron con el espectrómetro fotónico multicanal Hamamatsu que dispone de dos unidades, una para medir en el rango del visible extendido (módulo C7443 detector en el rango de 196-958 nm y resolución menor a ± 2 nm) y una segunda unidad que mide en el rango del infrarrojo cercano NIR (módulo PMA-1 con detector en el rango de 896-1686 nm y resolución menor a ± 9 nm). El sistema óptico está formado por una fibra óptica bifurcada, que conduce la luz desde una lámpara de 100 W de tungsteno hasta la muestra donde la radiación incidente se modifica por interacción con ella, volviendo al detector a través de la misma fibra óptica.

2.2. Métodos

El manejo y análisis de datos se llevó a cabo con el programa Matlab Mathworks®. Los análisis que se incluyen en este artículo se han llevado a cabo sobre espectros normalizados mediante el método *standard normal variate* (SNV, a cada espectro se le sustrae su media y se divide por su desviación típica) (Fearn et al., 2009). Se realizaron análisis de componentes principales para evaluar la variabilidad de las poblaciones espectrales de forma no supervisada y análisis discriminantes con mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) para categorizar según tipos de variedades.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de espectroscopia NIR

Las muestras correspondientes al primer envío y sin someter a secado en estufa se consideraron conjuntamente para realizar un primer análisis de componentes principales. En la Figura 3, se presentan los espectros medios normalizados por muestra de los tres primeros ensayos y categorizados por variedades. Se observa que los patrones espectrales son muy similares en la mayor parte de las muestras, distinguiéndose, sin embargo dos muestras correspondientes a la variedad Típica amarillo y una correspondiente a Caturro rojo, presentando un espectro medio diferente al obtenido para el resto de muestras; se señalan con líneas verticales las longitudes de onda en las que más se manifiestan estas diferencias. En la Figura 4 se muestran los espectros de las muestras del Ensayo 3 antes y después del secado en estufa; las muestras secadas en estufa presentan el mismo patrón espectral que las identificadas previamente como atípicas en las muestras de los Ensayos 1, 2 y 3 en la Figura 3.

En la Figura 5 se presenta la proyección de los espectros en el primer componente principal (*scores* en PC1) obtenido en el análisis de componentes principales; se observa que las muestras de la variedad Típica amarillo del Ensayo 1 y la Caturro rojo del Ensayo 2 presentan valores positivos en el PC1, mientras que el resto de las muestras antes de ser secadas en estufa, presentan valores negativos. Las muestras del Ensayo 3, tras ser secadas en estufa hasta peso constante pasan a tener valores positivos.

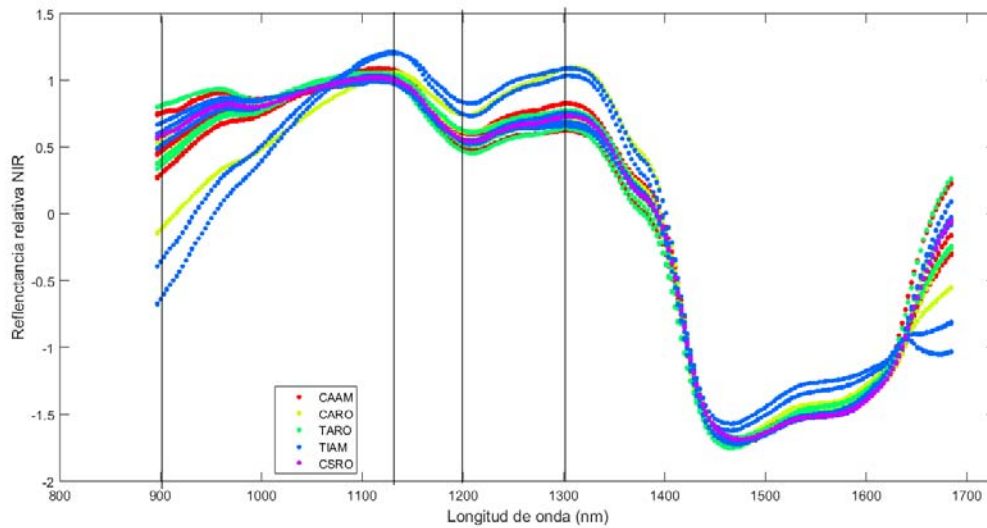


Figura 3. Espectros medios NIR normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tabi rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Castillo rojo CSRO) y correspondientes al primer envío

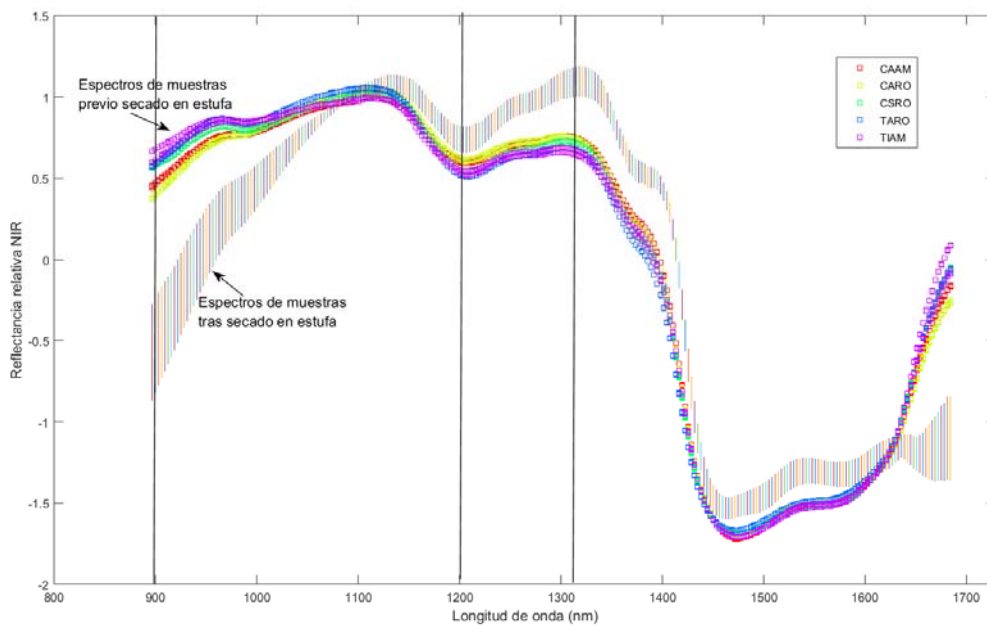


Figura 4. Espectros medios NIR normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tabi rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Castillo rojo CSRO) y correspondientes al ensayo 3 antes y después de su secado en estufa

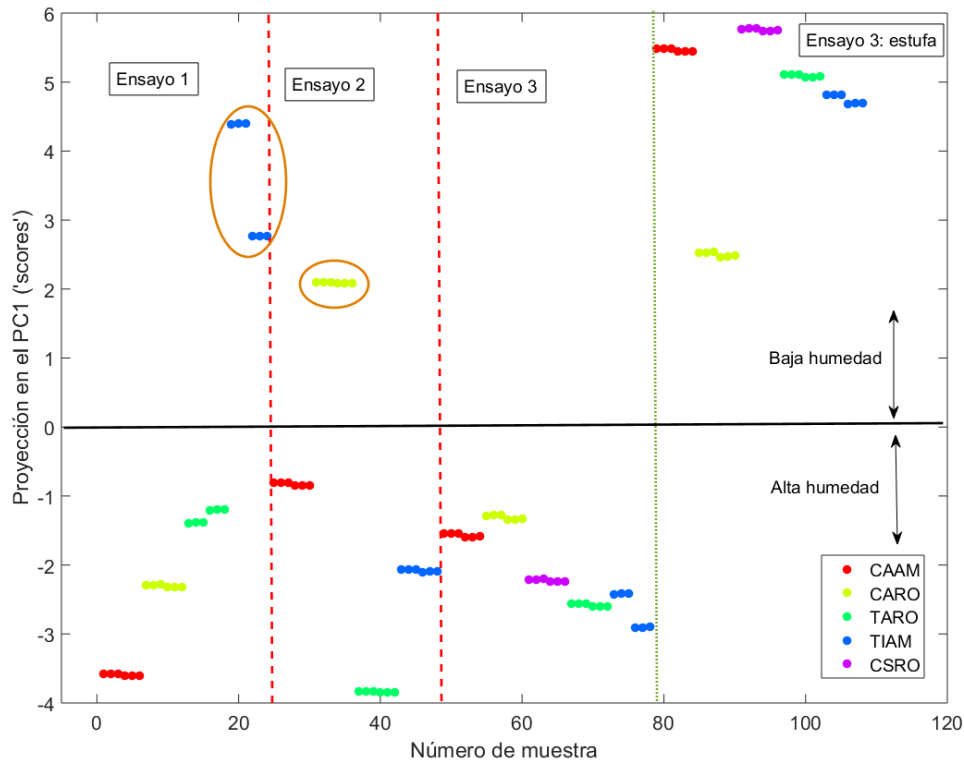


Figura 5. Proyección de los espectros de los tres primeros ensayos en el primer componente principal PC1, muestras con humedad según procesado en origen

El Real Decreto, 3176/1983, de 16 de noviembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la Elaboración, Circulación y Comercio de Especies Vegetales para Infusiones de uso en Alimentación, parcialmente en vigor, especifica en el apartado 2.1 del artículo 11 que la humedad de los vegetales para su uso en infusiones debe ser inferior al 15%. Este grado de secado garantiza la imposibilidad de crecimiento de microorganismos dada la baja actividad de agua asociada a este grado de humedad. El contenido en humedad de las muestras analizadas se sitúa entre el 6,7% y el 11,9%, valores adecuados para mantener la estabilidad de las muestras desde su procesado hasta el consumo, pero con una variabilidad por lotes que puede ser necesario evaluar. Las muestras identificadas como atípicas, presentaron los menores valores de humedad (6,7%), lo que indica que la espectroscopia NIR puede implementarse para categorizar las muestras que llegan a fábrica en función de su contenido en humedad.

3.2. Resultados de espectroscopia VIS e hiperespectral

En la Figura 6 se presentan los espectros VIS normalizados de las muestras analizadas, categorizados por variedades. Se observa que entre 400 y 500 nm la reflectancia presenta valores mínimos para todos los espectros. El espectro de absorción de los carotenos, frecuentemente presentes en frutos, muestra sus picos de absorbancia entre los 400 nm y los 500 nm, correspondientes al color azul y verde, por lo que la luz roja-anaranjada-amarilla que refleja le proporciona su color característico. Las antocianinas, típicamente presente en los frutos rojos, tienen un rango de absorción amplio al final del azul del espectro visible con una absorción máxima observada en las regiones de 500-535 nm (Aguilera Ortiz et al., 2011). Ambos pigmentos tienen presencia en la pulpa de las bayas de café.

El análisis discriminante mediante mínimos cuadrados parciales (PLS-DA), ha permitido clasificar las muestras de pulpas deshidratadas en variedades rojas y amarillas, con un 82% de las muestras bien clasificadas Figura 7.

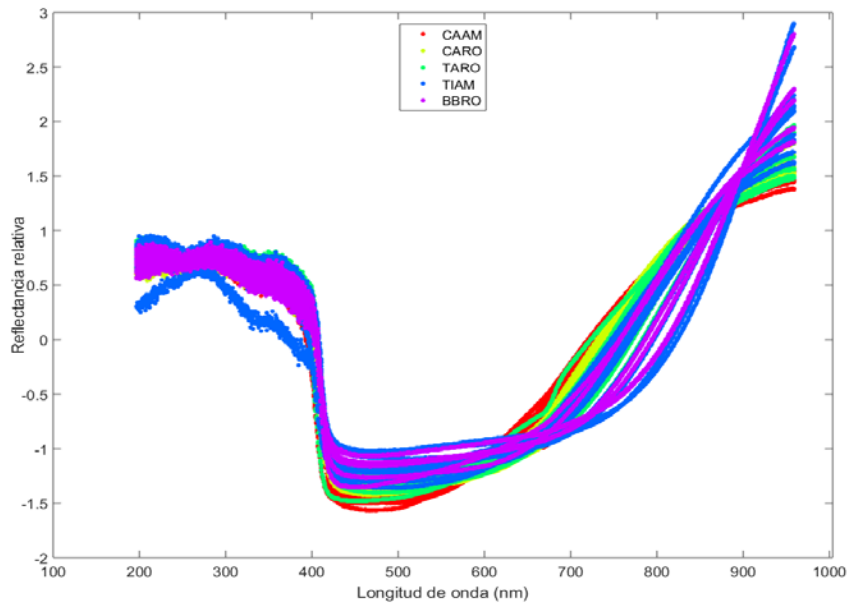


Figura 6. Espectros medios VIS normalizados por muestras categorizados por variedades (Caturro amarillo CAAM, Caturro rojo CARO, Tábica rojo TARO, Típica amarillo TIAM y Borbón rojo BBRO) y correspondientes al primer y segundo envío

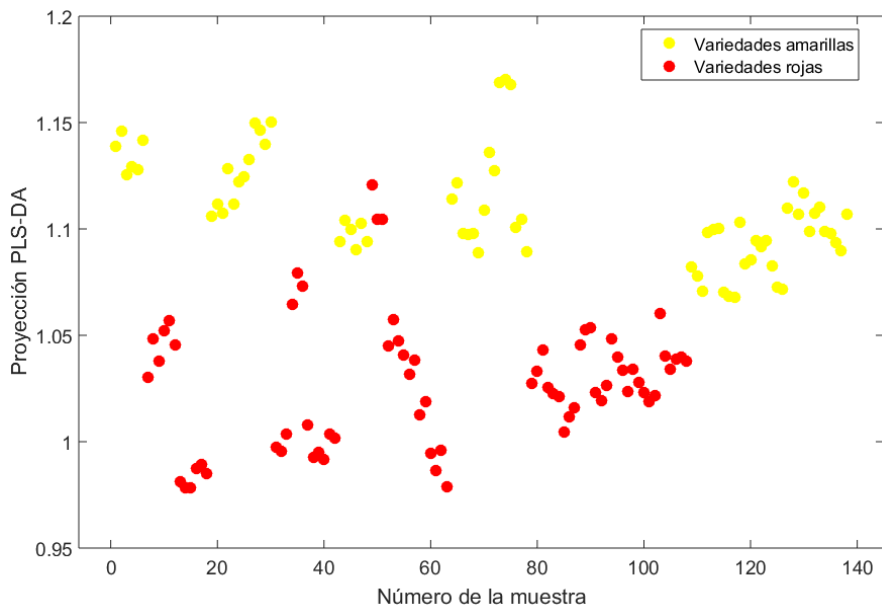


Figura 7. Proyección de los espectros VIS normalizados en la variable latente obtenida mediante PLS-DA, categorizadas por tipo de variedades

De las mismas muestras utilizadas en los ensayos de espectroscopia se adquirieron sendas imágenes hiperespectrales en el rango entre 400 y 1.000 nm. La técnica permite obtener los espectros de todos los píxeles de la imagen, lo que supone considerar la posible variabilidad espacial de las muestras con una única medida. Como ha sucedido con la espectroscopia VIS puntual, las medidas no permitieron una segregación satisfactoria de las variedades, sin embargo sí ha dado buenos resultados en la clasificación de las variedades según si la pulpa es roja o amarilla. A modo de ejemplo se incluyen las imágenes virtuales de dos variedades, Castillo rojo y Caturro amarillo (Figura 8), que corresponden al resultado de la aplicación de un modelo cualitativo PLS-DA (Figura 9 y Figura 10).

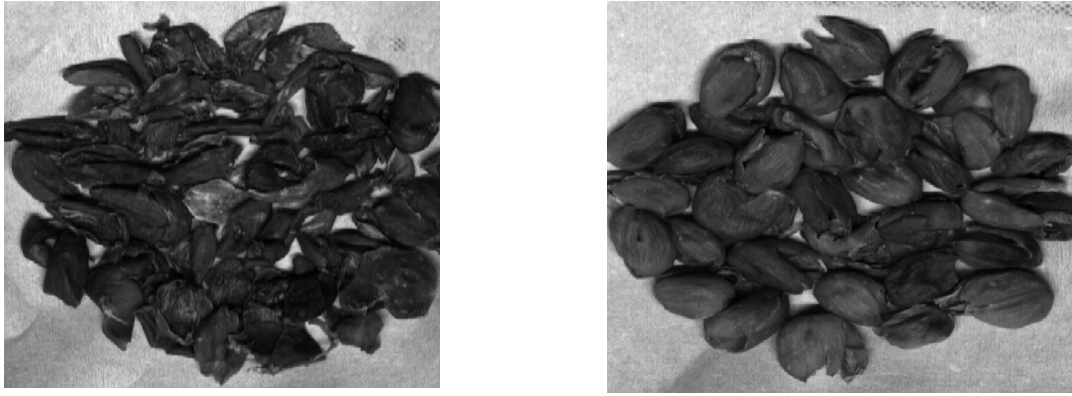


Figura 8. Plano 700 nm de las imágenes hiperespectrales de una muestra de Castillo rojo (izquierda) y Caturro amarillo (derecha)

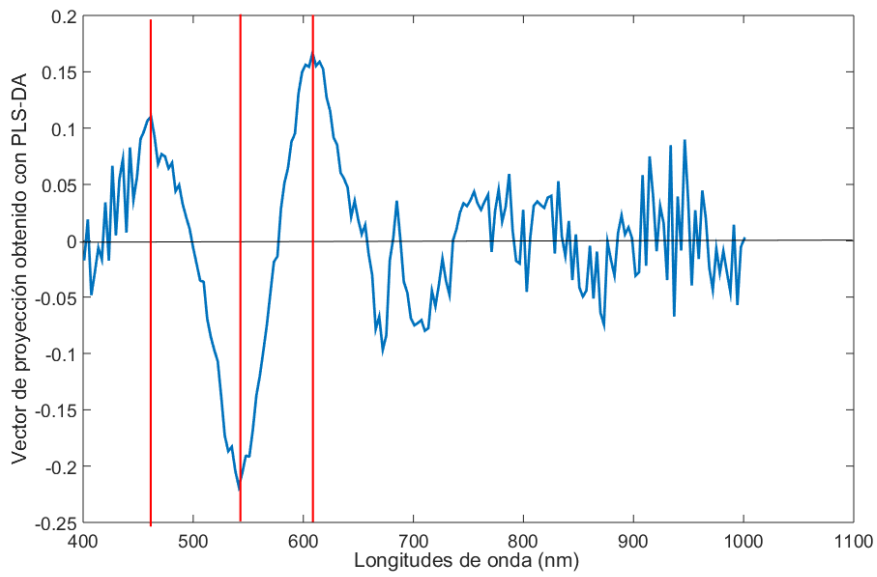


Figura 9. Vector de proyección del análisis PLS-DA. Se señalan con líneas verticales las longitudes de onda más significativas en el modelo cualitativo obtenido con PLS-DA.

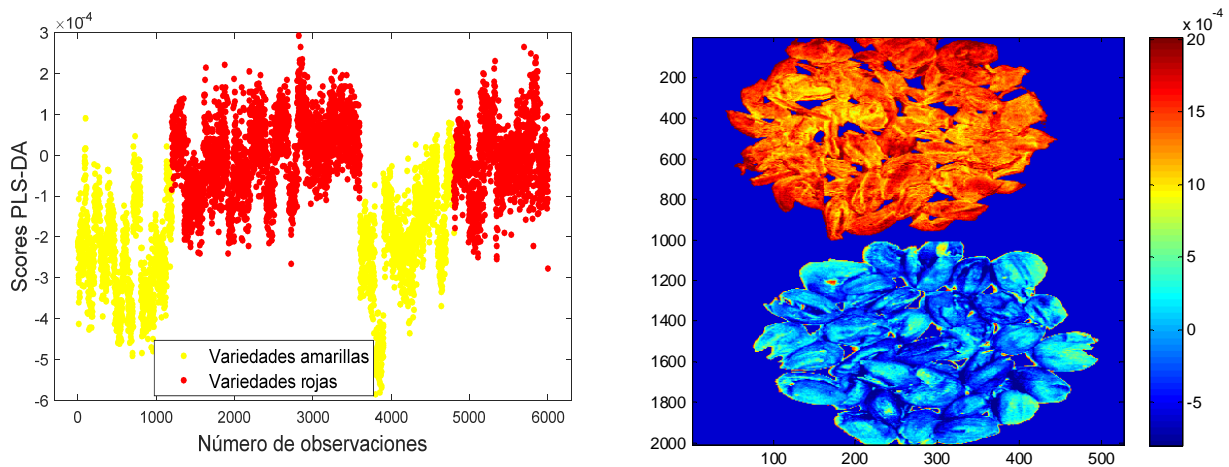


Figura 10. Proyección de la población de calibración en el espacio PLS-DA (izquierda), se observa la separación según variedades rojas y amarillas. Imágenes virtuales según modelo PLS-DA (derecha) de una muestra de Castillo rojo (arriba) y Caturro Amarillo (abajo)

4. Conclusiones

Las técnicas espectroscópicas en el rango del visible (VIS) y del infrarrojo cercano (NIR) permiten la estimación de parámetros físicos de la muestra en tiempo real, de modo no destructivo y sin necesidad de reactivos. Con los trabajos realizados en este proyecto, la espectroscopia NIR ha mostrado su potencial para la segregación de muestras de pulpa con diferentes contenidos en humedad. Si se diagnosticara un problema de variabilidad en el contenido de humedad con el que el producto llega a fábrica para su formulación final, de manera que se comprometiera su calidad organoléptica o de conservación, podría resultar de utilidad la implementación de un dispositivo NIR para la determinación rápida y no destructiva de este parámetro.

Tanto la espectroscopia VIS como la imagen hiperespectral aplicadas sobre muestras de pulpa deshidratada han mostrado su viabilidad para la evaluación y control del material en recepción en la industria y en tiempo real, en lo que refiere a la verificación de si el producto corresponde a una variedad de pulpa roja o amarilla o a una mezcla de ambas.

Estas tecnologías, por tanto, pueden ser la base de un sistema de verificación y comprobación de la calidad de la materia prima, con posibilidades de ampliar sus competencias con un diseño experimental más amplio abarcando muestras representativas de la variabilidad del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CDTI por la financiación del proyecto “NUEVO PRODUCTO A BASE DE PULPA DE CAFÉ DESECADA. INFUCAFE” y a la Comunidad de Madrid y Fondos Estructurales de la Unión Europea por su apoyo a través del programa S2013/ABI-2747 (TAVS-CM).

Bibliografía

- Aguilera Ortíz, M., Reza Vargas, M.C., Chew Madinaveitia, R-J., Meza Velázquez, J.A. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista Biotecnia* 13(2): 16-22.
- Esquivel, P., V.M. Jiménez. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46: 488-495.
- Campos-Vega, R., G. Loarca-Piña, H.A. Vergara-Castañeda and B.D. Oomah. 2015. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* 45: 24-36.
- Fearn, T., Riccioli, C., Garrido-Varo, A., Guerrero-Ginel, J.E. 2009. On the geometry of SNV and MSC. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 96: 22–26.
- Marín-López S., J. Arcila-Purgarín, C. Montoya-Restrepo, EC O.-T. (2003) Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54:208-225.
- Raichle B.W., Sinclair R.S., Ferrell J.C. (2012) Design and construction of a direct hydro powered coffee depulper. *Energy for Sustainable Development* 16:401-405. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.08.006>.