

APLICACIÓN EN TIEMPO REAL EN ALMAZARAS DE LA TECNOLOGÍA AOTF-NIR PARA LA MEJORA DEL CONTROL DE PRODUCCIÓN, CONTROL DE CALIDAD Y TRAZABILIDAD DEL ACEITE DE OLIVA

Raquel Costales Rodríguez

RESUMEN

Para que el control del proceso de elaboración del aceite de oliva virgen se efectúe de una forma efectiva y, con ayuda de los sistemas de control, se consiga una adecuada optimización del proceso, ésta ha de estar basada en el conocimiento en tiempo real de las características de fruto, del nivel de agotamiento de los subproductos y de las características del aceite que se obtiene. Para ello, es necesaria la implantación de tecnologías compuestas por sensores analíticos para la medida en tiempo real de aquellos parámetros físico-químicos que muestran una relación directa con estos objetivos.

En este proyecto se estudia la utilidad de la espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR) para el análisis en tiempo real de diferentes parámetros durante la obtención de aceite de oliva virgen en la almazara. Se obtienen espectros en la región de 1.100-2.300 nm de muestras de aceituna, orujo y aceite obtenido durante 2 campañas consecutivas (2009-2010 y 2010-2011), mediante un equipo AOTF-NIR (Acousto-optic tunable filter-near infrared), el cual permite el escaneado de forma continuada, instantánea y simultánea en diferentes puntos de la almazara y de varios parámetros en cada punto, y se desarrollan modelos de calibración quimiométricos y modelos basados en redes neuronales a partir de los datos espectroscópicos y los valores obtenidos por métodos de análisis físico-químicos de referencia. Con esto se conseguirá una mejora en el control de producción, control de calidad y trazabilidad del aceite de oliva.

ABSTRACT

For monitoring and control of the olive oil production process in an effective way and, by using control systems, it achieves a proper optimization of the process, it must be based on "on line" knowledge of the characteristics of the fruit, the level of depletion of byproducts and of the characteristics of the olive oil obtained. For this purpose, it is necessary to implement analytic sensors for real-time measurement of those physical and chemical parameters that show a direct relationship with these objectives. This project examines the utility of near-infrared spectroscopy (NIR) for real time analysis of different parameters during virgin olive oil production at the mill. Spectra are obtained in the region of 1100-2300 nm in samples of olives, olive pomace and olive oil leaving the decanter during 2 consecutive years harvest (2009-2010 and 2010-2011), by means of an AOTF-NIR equipment (Acousto-Optic Tunable Filter-Near InfraRed), which allows scanning continuously, instantly and simultaneously in different parts of the mill and several parameters at each point, and develop chemometric calibration models and models based on neural networks from spectroscopic data and values obtained by physico-chemical analysis from reference methods. This will result in improved production control, quality control and traceability of olive oil.

I. INTRODUCCIÓN: SITUACIÓN ACTUAL DEL ANÁLISIS EN PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

El futuro del aceite de oliva y su principal argumento de venta pasa por añadir valor al producto, garantizando su calidad final y trazabilidad frente al consumidor. Este reto no puede alcanzarse únicamente mediante normas comunitarias, sino que requiere de la participación activa de los actores que intervienen en el proceso de producción y comercialización del aceite de oliva.

De entre todos ellos juega un papel fundamental la almazara a través del control del proceso de elaboración del aceite de oliva desde que se recepciona la aceituna en el patio hasta que el aceite es almacenado en bodega. Suya es la tarea de mantener en cada una de las fases del proceso la calidad del fruto que recibe, regulando de forma racional, y de acuerdo a las características del fruto que procesa, las variables del proceso, evitando las situaciones que produzcan la alteración del producto y, principalmente, realizando una caracterización instantánea de éste con objeto de separarlo y distribuirlo de forma inmediata a los depósitos de una manera diferenciada según calidades o características específicas y manteniendo la identidad y la trazabilidad de éste. Con esta mejora de la trazabilidad se evitará, por un lado, que pequeñas cantidades de aceite defectuosas se mezclen con partidas de aceite de buena calidad, lo que daría lugar a un deterioro irreversible del aceite con la consiguiente depreciación comercial del producto, y por otro lado, permitirá separar aceites de diferentes características para, con posterioridad, poder realizar composiciones o “coupages” según las exigencias de los consumidores a los que se dirijan, sin olvidar la importancia que este control exhaustivo puede tener en la trazabilidad del producto.

No obstante, este control exhaustivo sobre el aceite de oliva virgen únicamente es posible si se dispone de sistemas analíticos capaces de proporcionar de manera inmediata y continua toda la información necesaria sobre aquellos parámetros estrechamente relacionados con las variables de regulación del proceso de elaboración, como son las características del fruto, de los subproductos y del aceite obtenido, en un intervalo corto de tiempo.

Precisamente este es uno de los principales problemas que plantea en la actualidad el proceso de obtención de aceite de oliva virgen de calidad, debido a la ausencia casi total de mecanismos que permitan una respuesta rápida en el control del proceso, tanto a nivel de producción como para el control de la calidad del producto final y clasificación de los aceites obtenidos previamente a su almacenamiento en la bodega. Todas las técnicas analíticas disponibles implicadas en el control de calidad y caracterización del aceite de oliva virgen utilizan productos químicos y la información que proporcionan llega desfasada o no llega

con la suficiente rapidez como para poder tomar decisiones y conducir la clasificación de los diferentes tipos de aceites como sería deseable, siendo, además, poco aplicables para el análisis rutinario en tiempo real al tener que realizarse en laboratorio.

De esta forma, la mayor parte de almazaras productoras no solamente no realizan ningún tipo de control, sino que además, no disponen de criterios para la clasificación del aceite obtenido, almacenándose en el mismo orden en que éste es producido con la consiguiente pérdida, tanto de identidad del producto, como del valor de éste al mezclarse aceites de diferentes calidades.

II. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL “ON LINE”

Para dar respuesta a esta necesidad real del sector, CITOLIVA pone en marcha el proyecto de automatización y control ‘on-line’ “Aplicación en tiempo real en almazaras de la tecnología AOTF-NIR para la mejora del control de producción, control de calidad y trazabilidad del aceite de oliva”, con el que pretende realizar el estudio e implantación en la almazara de una tecnología analítica pionera basada en sensores infrarrojos (tecnología NIR multicanal o multiplexor) para la caracterización y el control de la calidad del aceite de oliva virgen en tiempo real durante su producción en la almazara, de forma que posibilite una clasificación previa de los aceites, según determinadas características y calidades antes de su almacenamiento.

En este sentido, para la caracterización físico-química del aceite, una de las técnicas que ha demostrado tener una mayor perspectiva de aplicación es la espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR).

Trabajos previos realizados a nivel de laboratorio por el Centro IFAPA Venta del Llano, han permitido analizar la viabilidad de un sistema NIR, basado en la tecnología de AOTF (Acousto-Optic Tunable Filters), NIR (Near Infrared) (Brimrose Corp. EEUU). Este equipo, instalado en la línea de producción del aceite de oliva virgen, permite la rápida determinación de importantes indicadores del estado de maduración del fruto: relación pulpa/hueso, índice de extractabilidad, contenido en humedad y grasa en el fruto fresco, contenido grasa en la pulpa desecada, así como de las potenciales características del aceite con parámetros como: Índice de acidez (FA), Absorbancia al ultravioleta (K270), Polifenoles Totales (TPLF) y la relación entre ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (MPR), a partir del escaneado instantáneo de frutos intactos y molidos, en movimiento continuo.

La *espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR)* ha demostrado ser una tecnología:

- no destructiva (sin preparación previa de la muestra)
- autónoma
- no contaminante (libre de radiaciones y reactivos o disolventes químicos)
- con una velocidad de respuesta instantánea
- permite la detección de multicomponentes
- es fácilmente adaptable a nivel de línea de producción (on-line)
- ha demostrado previamente su viabilidad en la caracterización de aceites de oliva a nivel de laboratorio.

Mucha es la atención que se la ha prestado en los últimos años al uso de la tecnología NIR en estático en el sector del aceite, pero pocos han sido los estudios que se han centrado en el estudio de un sistema continuo y multipunto (en varios puntos de la almazara simultáneamente) y automatizado en las almazaras.

Para la ejecución de este proyecto, Citoliva ha contado con la experiencia del Centro IFAPA Venta del Llano en proyectos de automatización y control “on-line” como socio y con la colaboración del Consejo Regulador de la Denominación de Origen Sierra Mágina, de la empresa TECNILAB Desarrollo Tecnológico I+D S.L. perteneciente al grupo Tecnilab, especialista en el desarrollo, venta y mantenimiento de sistemas analíticos NIR, y de la empresa Monva S.L.

INMEDIATEZ EN EL CONTROL DEL PROCESO

Para que el proceso de elaboración del aceite de oliva se efectúe de manera efectiva y, con ayuda de los sistemas de control, se consiga una optimización adecuada del proceso, es imprescindible el conocimiento en tiempo real de las características de todos los puntos principales del proceso, es decir, del fruto, del nivel de agotamiento de los subproductos y de las características del aceite que se obtiene.

Por ello, y mediante una lectura de infrarrojos (mediante AOTF-NIR) en continuo, esta tecnología permitirá medir la aceituna, para conocer los parámetros referentes al rendimiento graso y humedad, esenciales para prever el comportamiento de la masa de aceituna durante su procesado y para un rápido y fiable control de la calidad de la aceituna a la entrada de la almazara. De esta manera, sustituirá a los tradicionales métodos físico-químicos que suponen un elevado desembolso económico y precisan de un dilatado periodo de tiempo para conocer esta composición del fruto. Como resultado, permitirá decidir qué hacer con la aceituna que está entrando en la almazara, ya que al ser una medición en tiempo real, posibilitará una trazabilidad completa del producto, asegurando que no se pierda la identidad de cada partida de aceituna.

Además, facilitará la toma de decisiones en el proceso de molturación a partir de recibir toda esta información de la aceituna y de aquella que se obtenga directamente del análisis y caracterización del aceite durante su elaboración, ya que permitirá el seguimiento instantáneo de las pérdidas de aceite en orujos y el conocimiento de las diferentes calidades de los aceites obtenidos en el decanter y en la centrífuga vertical, a fin de realizar un almacenamiento racional basado en las características diferenciales de los aceites. Así, se dispondrá de manera instantánea de información fidedigna para clasificar, seleccionar o etiquetar un lote de aceite o la partida de aceitunas de las que proviene.

UNA AYUDA PARA LA TRAZABILIDAD

Como resultado de este proyecto se pretende pues, proporcionar al sector de la elaboración del aceite de oliva virgen, y a las almazaras en particular, una herramienta que permita un control de calidad en tiempo real de los frutos que recibe, como apoyo objetivo en la toma de decisiones de organización y gestión del patio de recepción, así como en las decisiones de regulación del proceso para la mejora de la productividad y calidad del aceite de oliva a extraer. Al mismo tiempo indicar que una importante aplicabilidad, inmediata, de los resultados de este proyecto está, es la gran ayuda que puede proporcionar en la trazabilidad de los aceites, ya que al caracterizarse estos en una de las etapas finales de su elaboración y poder hacerlo en lotes tan pequeños como se desee, podemos obtener una información detallada de las características del aceite de una partida de aceituna determinada, o de las características de los aceites que componen un depósito. La información proporcionada por el proyecto permitirá establecer una sistemática más precisa y real sobre la trazabilidad del aceite, al basarse en la caracterización de lotes de trabajo mucho más pequeños que los actuales sistemas de trazabilidad existentes.

En una fase posterior, el proyecto facilitará la integración de esta tecnología en sistemas automatizados de control y optimización del proceso, no solo para contribuir a la mejora de las características del producto final, sino también como herramienta para la trazabilidad del producto.

III. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo general del proyecto es conseguir la aplicación industrial de una nueva tecnología analítica basada en AOTF-NIR para la caracterización en línea de la aceituna y del aceite de oliva durante su producción en la almazara y mejora del control de producción.

Con este proyecto se pretende mejorar el proceso de elaboración del Aceite de Oliva Virgen en diversos aspectos:

Mejora de la calidad del aceite obtenido

- Mejora del rendimiento industrial de la instalación
- Mejora de la gestión del patio
- Mejora de la trazabilidad y seguridad del producto

Actualmente los sistemas de control y automatización del proceso solo reciben información de sensores físicos: temperaturas, presiones, caudales, pesos... por lo que no pueden actuar como verdaderos sistemas de control de procesos ya que no conocen las características de la materia prima ni los objetivos a conseguir.

La utilización de técnicas analíticas no destructivas para medidas 'on-line' permitiría mejorar el funcionamiento de las almazaras en los aspectos indicados.

La incorporación de estas técnicas analíticas permitirá, además, la innovación en la gestión del patio (control de recepción, almacenamiento y control de molturación del fruto) para asegurar que no se pierda la identidad de la partida de aceituna y asegurar así la trazabilidad del producto final.

La obtención de una sistemática de control que cumpla los objetivos planteados con anterioridad, permitirá el desarrollo de un software que facilitará la integración de esta tecnología en sistemas automatizados de control y optimización del proceso, no solo para contribuir a la mejora de las características del producto final, sino también como herramienta para la trazabilidad del producto.

A partir del Objetivo General, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Implementar un equipo multiplexor-multicanal AOTF-NIR en la almazara para la mejora de la productividad y calidad del aceite obtenido.
- Desarrollar e implantar modelos quimiométricos y modelos basados en redes neuronales para la caracterización en tiempo real de la aceituna, del orujo y del aceite elaborado.
- Crear una sistemática para la caracterización y clasificación inmediata del fruto en recepción y del aceite en su elaboración.
- Mejorar el control de producción mediante seguimiento instantáneo de las pérdidas de aceite en los orujos.
- Diseñar una sistemática para mejorar la trazabilidad del aceite, basada en la información del equipo AOTF-NIR.
- Conseguir una sistemática y dispositivo para clasificar los aceites durante su elaboración.

IV. FASES DEL PROYECTO Y METODOLOGÍA

Las actividades a realizar en el proyecto se pueden dividir en las siguientes fases:

FASE 1. ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

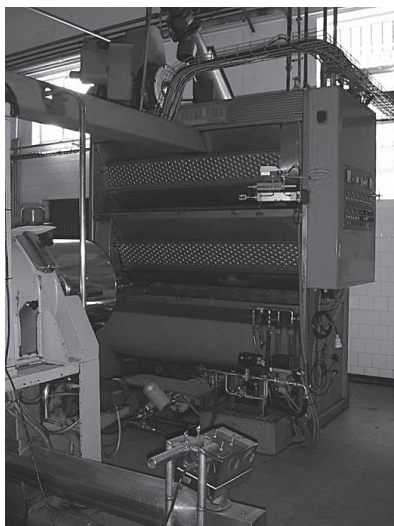
FASE 1.1. Actividades a nivel de almazara experimental: Recogida de espectros

Para el desarrollo de este proyecto, las muestras de masa de aceituna, de orujo y de aceite de oliva, han sido obtenidas a lo largo de 2 campañas oleícolas (2009-2010 y 2010-2011) en la almazara experimental del Centro IFAPA Venta del Llano cuyo proceso de elaboración de aceite se realiza mediante un sistema continuo de 2 fases. Para su alimentación, se han utilizado aceitunas de la Variedad Picual procedentes de la finca de olivar que este mismo Centro utiliza para ensayos de investigación.

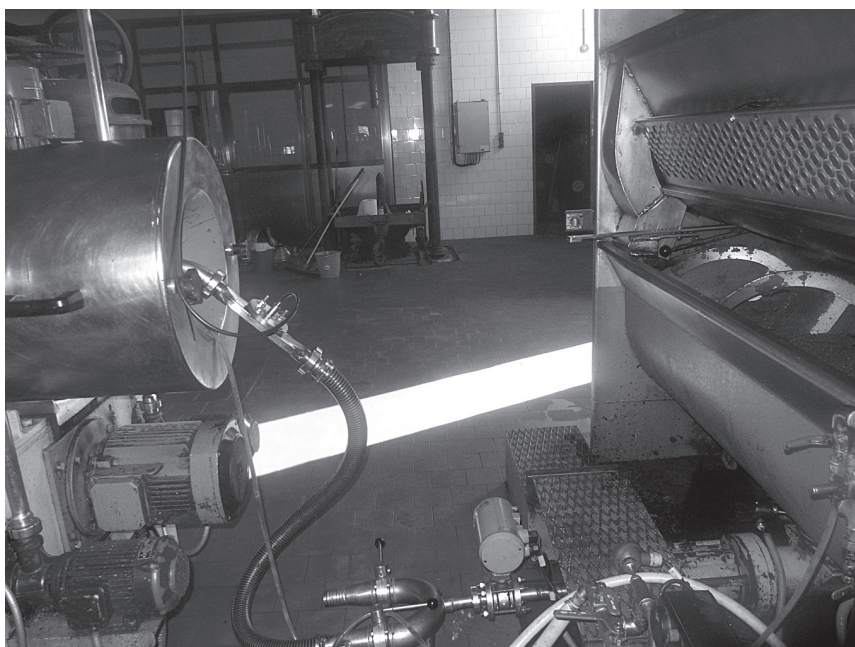
En la almazara experimental del IFAPA, durante la primera campaña estudiada se ha llevado a cabo la implementación del equipo multiplexor AOTF-NIR, adecuando el patio de recepción y la zona de clarificación de aceites, localizando los puntos más adecuados para las mediciones y adecuándolos, adaptando los sensores a los tipos de muestra, estudiando las mejores condiciones del escaneado de las muestras (colocación del sensor, número de disparos por muestra,...), llevando a cabo adquisiciones espectrales y de muestras para análisis físico-químicos mediante métodos de referencia de diferentes parámetros de aceituna, orujo y aceite a la salida del decanter. Esta toma de espectros y de muestras se ha repetido a lo largo de las 2 campañas estudiadas.



APLICACIÓN TECNOLOGÍA NIR EN ACEITUNA
CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO ENTERO EN TIEMPO REAL



APLICACIÓN TECNOLOGÍA AOTF-NIR MULTIPLEXOR EN ALMAZARA
1. APLICACIÓN AOTF-NIR EN MASA DE ACEITUNA A LA ENTRADA DE LA BATIDORA

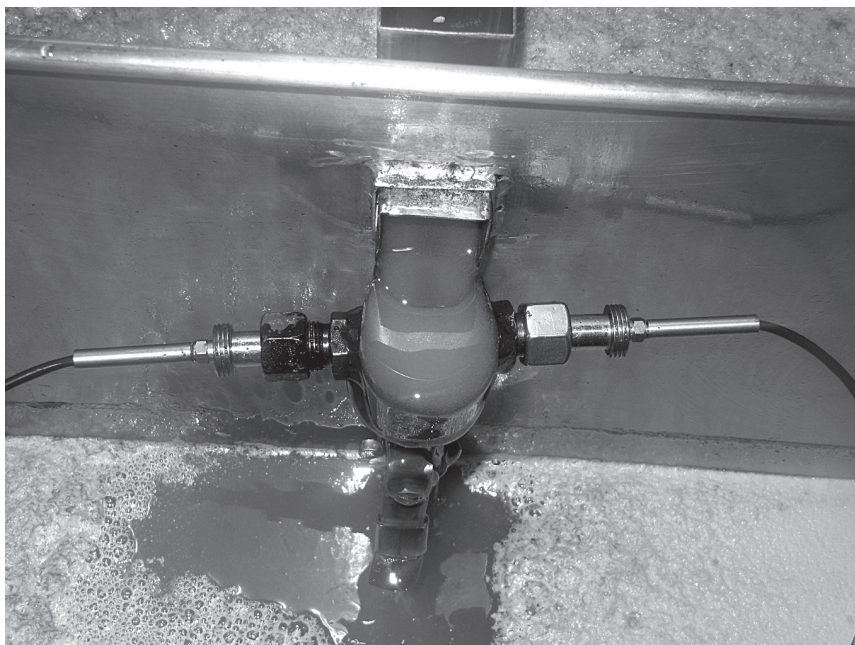


APLICACIÓN TECNOLOGÍA AOTF-NIR MULTIPLEXOR EN ALMAZARA
2. APLICACIÓN AOTF- NIR EN MASA DE ACEITUNA A LA ENTRADA DEL DECÁNTER

*APLICACIÓN TECNOLOGÍA AOTF-NIR
MULTIPLEXOR EN ALMAZARA
3. APLICACIÓN AOTF-NIR PARA
CARACTERIZACIÓN DEL ORUJO A LA
SALIDA DEL DECÁNTER*



*APLICACIÓN TECNOLOGÍA AOTF-NIR MULTIPLEXOR EN ALMAZARA
4. APLICACIÓN AOTF-NIR EN ACEITES A LA SALIDA DEL DECÁNTER*



*APLICACIÓN TECNOLOGÍA AOTF-NIR MULTIPLEXOR EN ALMAZARA
5. APLICACIÓN AOTF-NIR EN ACEITES A LA SALIDA DE LA CENTRÍFUGA VERTICAL*

FASE 1.2. Actividades a nivel de laboratorio: Análisis físico-químicos y espectrales

Para el desarrollo de este sistema basado en la tecnología AOTF-NIR, se han tomado espectros y muestras de aceituna, orujo y aceite para los análisis físico-químicos que contribuirán a la validación de los modelos y al desarrollo de un software que en el futuro podrá tener una aplicación industrial en el sector, que en último lugar, contribuirá a mejorar el funcionamiento de las almazaras.

Los análisis físico-químicos realizados son los que se detallan a continuación:

Análisis de muestras de aceituna y aceites extraídos de la aceituna mediante procedimiento ABENCOR. Determinaciones analíticas según métodos de referencia de:

- Índice de madurez.
- Contenido graso.
- Humedad.
- Relación pulpa/hueso.

- Acidez, estado oxidativo, polifenoles totales, pigmentos, ácidos grasos y otros componentes nutricionales., en los aceites extraídos mediante ABENCOR.

Análisis de muestras de orujos. Determinaciones analíticas según métodos de referencia de:

- Contenido graso.
- Humedad.

Análisis de muestras de aceites obtenidos. Determinaciones analíticas según métodos de referencia de:

- Acidez, estado oxidativo, polifenoles totales, pigmentos, ácidos grasos y otros componentes nutricionales.

Las actividades para análisis espectrales y desarrollo de modelos predictivos llevados a cabo son los que se detallan a continuación:

- Obtención de modelos quimiométricos de predicción basados en la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS). El software quimiométrico Unscrambler (Unscrambler 9.7, Camo Inc.) ha sido utilizado para el desarrollo de los modelos quimiométricos a partir de los espectros adquiridos y de los resultados físico-químicos de las muestras recogidas.
- Validación de los modelos PLS en las campañas sucesivas a su creación.
- Mejora de los modelos PLS mediante incorporación de datos de las campañas sucesivas.
- Obtención de modelos basados en redes neuronales artificiales a partir del algoritmo “feed-forward backpropagation”, utilizando el software Matlab (The Mathwork, Inc.).

METODOLOGÍA

En este proyecto, la secuencia seguida para la obtención y validación de los modelos de predicción para cada uno de los parámetros contiene los siguientes pasos:

a. Adquisición de espectros “on line” mediante el espectrofotómetro AOTF-NIR en almazara experimental y en almazara industrial en los puntos anteriormente citados.

Como se ha comentado anteriormente, la adquisición “on line” de espectros será llevada a cabo utilizando un espectrofotómetro AOTF-NIR (Acousto-Optic Tunable Filter (AOTF) Near Infrared (NIR) (Brimrose Corp. EEUU). Este equi-

po, instalado en la línea de producción del aceite de oliva virgen, permite el escaneado simultáneo de distintos puntos dentro de la almazara.

b. Durante el proceso, y de forma simultánea a la toma de espectros se tomarán muestras para análisis en laboratorio de los distintos parámetros físico-químicos a estudiar, centrándonos en los siguientes: en masa de aceituna y orujo se determinará humedad y contenido graso sobre húmedo y en las muestras de aceite (sin filtrar) a la salida del decanter humedad, contenido en impurezas y contenido en polifenoles totales.

c. Organización y revisión de datos

Una vez que se dispone de la información espectral y de los resultados de los métodos analíticos de referencia, se realiza una organización de los datos de forma que cada muestra tenga su espectro y sus correspondientes datos analíticos.

d. Análisis exploratorio de la calidad de los datos espectrales, para evitar incluir en el análisis datos erróneos de cualquier naturaleza. En primer lugar se llevará a cabo una verificación visual de los espectros obtenidos, seguido de un análisis exploratorio mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) por medio de la función *ellipse* T2-Hotelling. Este análisis contempla la detección y eliminación del grupo de datos, si procede, de aquellas muestras que presentan espectros inusuales, extraños o que presentan un perfil muy diferente del resto del conjunto, los denominados “outliers” que pueden tener una gran influencia en la construcción del modelo matemático.

e. Obtención de modelos quimiométricos de predicción

Con los espectros resultantes de la fase anterior, se desarrollarán modelos quimiométricos de predicción. Esta fase se realiza ejecutando un análisis PLS mediante el programa *Unscrambler*, utilizando el conjunto de muestras total e indicándole al programa cuales son las muestras del conjunto de calibración y cuales son las del conjunto de validación. La calibración se efectúa sobre el rango espectral 1.100-2.300 nm.

Con el objetivo de conseguir la optimización de los modelos, se ha llevado a cabo un estudio del/de los pretratamientos matemáticos más adecuados en cada caso (diferentes niveles de suavizado, normalización, baseline, tratamiento de derivadas..), incluyendo el estudio de una posible correlación múltiple con diferentes variables del proceso.

f. Obtención de modelos basados en redes neuronales, utilizando el software *Matlab*.

g. Validación de los modelos de predicción seleccionados

El programa utilizado efectúa este proceso de manera simultánea al de calibración y devuelve una serie de estadísticos que permiten analizar la capacidad predictiva del modelo: R^2 , r , SEC, SEP, RPD, RER....

En base a una serie de criterios que han sido preestablecidos, se seleccionará el modelo más adecuado.

h. Utilización de estos modelos en campañas sucesivas para comprobar en tiempo real su funcionamiento en almazara

Estas correcciones de los modelos NIR predictivos serán utilizados para traducir los modelos generados a modelos industriales.

FASE 1.3: Actividades a nivel industrial. Almazara MONVA

En esta fase se llevará a cabo una reproducción de los ensayos realizados previamente en la almazara experimental en una almazara industrial durante toda la campaña oleícola.

FASE 2: Diseño y desarrollo del sistema basado en la tecnología AOTF-NIR y del software de trazabilidad

Tras el análisis experimental, fase anteriormente definida, se obtendrán una serie de parámetros a tener en cuenta en el diseño y desarrollo del sistema analítico de caracterización en línea de la aceituna y del aceite de oliva.

Otra parte de esta fase es el desarrollo de un software específico para trazabilidad del aceite en la almazara basado en la información instantánea del prototipo y en la caracterización de los lotes de trabajo que son más pequeños que los actuales sistemas de trazabilidad.

V. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener un sistema multiplexor-multicanal basado en la tecnología AOTF-NIR e implantarlo en la línea de procesado de aceite de oliva para la mejora de la productividad y calidad del aceite.

El desarrollo e implementación de los modelos quimiométricos y modelos basados en redes neuronales desarrollados, permitirá realizar la caracterización en tiempo real del fruto en el patio de recepción, el control de pérdidas de aceite en orujos y las características de los aceites obtenidos. Con esto conseguiremos diseñar e implementar una sistemática para, por un lado, permitir la caracterización y clasificación en tiempo real del fruto en el patio de recepción y del aceite en su elaboración, por otro lado, mejorar el control de producción mediante seguimiento instantáneo de las pérdidas de aceite en los orujos y por otro lado, mejorar la trazabilidad del aceite en la almazara basada en la información instantánea de este equipo permitiendo la clasificación “on line” de los aceites durante su elaboración, previo a su almacenamiento.

Con esto conseguiremos:

- Mejora de la gestión del patio
- Mejora de la calidad del aceite de oliva obtenido

- Mejora del rendimiento industrial de la instalación
- Mejora de la trazabilidad y seguridad del producto

VI. CONCLUSIONES PROVISIONALES

Basados en los resultados obtenidos hasta el momento, se pueden deducir las siguientes conclusiones provisionales:

- La incorporación de la tecnología NIR más actual, basada en dispositivos ópticos que permiten el escaneado de la aceituna, el orujo y el aceite de forma continuada e instantánea, reducen el equipamiento necesario y este se hace más fácilmente adaptable a la línea de proceso, mejorando su manejo así como la información que es capaz de proporcionar.
- La información que se puede generar a partir de estas mediciones, es suficiente como para establecer un primer 'screening' y clasificación grosera de los aceites en la misma línea de producción.
- Se ha observado, al mismo tiempo, que esta tecnología puede servir tanto para la caracterización del aceite en su clasificación previa antes de su almacenamiento, como para la regulación del proceso de elaboración, constituyéndose en un importante instrumento de ayuda predictivo.
- La aplicación de esta tecnología, mediante sistemas multiplexores que atienden a distintos puntos de muestreo nos puede permitir regular el proceso de elaboración en base a las características de la aceituna de entrada y al tipo de aceite que se quiere obtener, es decir una 'elaboración personalizada' del aceite de oliva virgen.
- Finalmente indicar que una importante aplicabilidad, inmediata, de los resultados de este proyecto está, sin duda alguna, en la gran ayuda que puede proporcionar en el tema de la trazabilidad de los aceites, ya que al caracterizarse éstos en una de las etapas finales de su elaboración y poder hacerlo en lotes tan pequeños como se desee, podemos obtener una información detallada de las características del aceite de una partida de aceituna determinada, o de las características de los aceites que componen un depósito.

BIBLIOGRAFÍA

BARROS, A.S., NUNES, A., MARTINS, J., DELGADILLO, I., 2009. Determination of oil and water in olive and olive pomace by NIR and multivariate analysis. *Sens. & Instrumen. Food Qual.*, 3, 180-186.

- CASALE, M., SINELLI, N., OLIVERI, P., DI EGIDIO, V., LANTERI, S., 2010. Chemometrical strategies for feature selection and data compression applied to NIR and MIR spectra of extra virgin olive oils for cultivar identification. *Talanta*, 80, 1832-1837.
- CAYUELA, J.A., GARCÍA, J.M., CALIANI, N., 2009. NIR prediction of fruit moisture, free acidity and oil content in intact olives. *Grasas y aceites*, 60(2), 194-202.
- DUPUY, N., GALTIER, O., LE DREAU, Y., 2010. Chemometric analysis of combined NIR and MIR spectra to characterize French olives. *European Journal of Lipid Science and Technology* 112, 463-475.
- GARCÍA SÁNCHEZ, A., RAMOS MARTOS, N., BALLESTEROS, E., 2005. Estudio comparativo de distintas técnicas analíticas (espectroscopía de NIR y RMN y extracción mediante Soxhlet) para la determinación del contenido graso y de humedad en aceitunas y orujo de Jaén. *Grasas y aceites*, 56, 220-227.
- HUANG, H., YU, H., XU, H., YING, Y., 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. *Journal of Food Engineering* 87, 303-313.
- JIMENEZ, A., 2003. Monitoring carotenoid and chlorophyll pigments in virgin olive oil by visible-near infrared transmittance spectroscopy. On-line application. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 219-226.
- JIMÉNEZ MÁRQUEZ, A., MOLINA DÍAZ, A., PASCUAL REGUERA, M.I., 2005. Using optical NIR sensor for on-line virgin olive oils characterization. *Sensors and Actuators B* 107, 64-68.
- JIMÉNEZ, A., BELTRÁN, G., AGUILERA, M.P., UCEDA, M., 2008. A sensor-software based on artificial neural network for the optimization of olive oil elaboration process. *Sensors and Actuators B* 129, 985-990.
- MORALES-SILLERO, A., FERNÁNDEZ-CABANÁS, V.M., CASANOVA, L., JIMÉNEZ, M.R., SUÁREZ, M.P., RALLO, P., 2011. Feasibility of NIR spectroscopy for non-destructive characterization of table olive traits. *Journal of Food Engineering* 107, 99-106.
- SINELLI, N., CERRETANI, L., DI EGIDIO, V., BENDINI, A., CASIRAGHI, E., 2010. Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity. *Food Research International*, 43, 369-375.
- ZHUANG, X.L., XIANG, Y.H., QIANG, H., ZHANG, Z.Y., ZOU, M.Q., ZHANG, X.F., 2010. Quality analysis of olive oil and quantification detection of adulteration in olive oil by near-infrared spectrometry and chemometrics. *Spectroscopy and Spectral Analysis* 30, 933-936.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Parte de este trabajo forma parte de una Tesis doctoral de la autora.

La autora agradece especialmente a los doctores Antonio Jiménez Márquez y Gabriel Beltrán Maza, investigadores titulares del Centro IFAPA Venta del Llano.