

RESUMEN

La industria alimentaria, concretamente el sector poscosecha, necesita innovar en sus procesos productivos, optimizando los mismos para rentabilizar sus actividades, garantizando productos de calidad capaces de satisfacer las necesidades de los consumidores. En la actualidad, la mejora de los procesos de inspección poscosecha se centra principalmente en su optimización, aplicando nuevas técnicas alternativas que permitan reducir los tiempos de procesado, minimizar la generación de residuos y conseguir una mayor estandarización de sus productos.

La presente tesis doctoral se centra en evaluar el potencial de la espectroscopia visible e infrarrojo cercano (VIS-NIR) para la caracterización e inspección de la calidad de la fruta tanto fuera de línea como a tiempo real en procesos automatizados.

En un primer lugar, la viabilidad de la técnica se estudió a nivel de laboratorio en estado estático (off-line), con el fin de conocer y optimizar las condiciones de medición en función de las características de la materia prima. Posteriormente, se evaluó la calidad interna y externa de diferentes tipos de frutas como son caqui, nectarina y mango. En una segunda etapa, se llevó a cabo una automatización de los procesos de inspección mediante el desarrollo de nuevos prototipos in-line. Para este propósito, y con el objetivo de completar y corroborar los resultados obtenidos de manera estática, se estudió la integración de dos sondas VIS-NIR en una garra robótica capaz de manipular mangos fusionando mediciones no destructivas de la firmeza y de los espectros en el rango VIS-NIR obtenidos de forma simultánea. Finalmente, se estudió la integración de una sonda VIS-NIR a una cinta transportadora como herramienta de monitorización in-line del proceso de inspección de distintas variedades de manzana.

Los resultados obtenidos a nivel estático han demostrado que la espectroscopia VIS-NIR es un método no destructivo muy prometedor para predecir la astringencia en caqui alcanzando un rendimiento de un R^2_p de 0.904 utilizando el espectro completo y un R^2_p de 0.915 seleccionando tan sólo las 41 bandas más importantes. Así mismo, ha demostrado ser una adecuada herramienta para clasificar al 100% entre variedades de nectarinas como “Big Top” y “Diamond Ray” con una apariencia externa e interna muy similar, pero con diferentes propiedades organolépticas. De manera similar, fue posible clasificar al 100% variedades como “Big Top” y “Magique” de apariencia externa y composición similar pero distinto color de pulpa. Se desarrolló un índice de calidad interna (IQI) para evaluar la calidad de las nectarinas, el cuál puede predecirse a través de espectroscopia VIS-NIR. En el caso de la variedad “Big Top”, se obtuvieron valores de R^2_p de 0.909 y para la variedad “Magique” valores de R^2_p de 0.927. Por lo que respecta a los trabajos off-line realizados con mangos de la variedad “Osteen”, fue posible predecir su calidad interna mediante los índices de madurez (RPI) y de calidad (IQI) con un gran rendimiento utilizando todo el rango espectral ($R^2_p = 0.833-0.879$) así como las longitudes de onda más importantes ($R^2_p = 0.815-0.896$). A su vez, los ensayos experimentales efectuados con estos mismos mangos bajo la manipulación no destructiva de una garra robótica, demostraron que los mejores modelos eran capaces de predecir tanto la firmeza mecánica ($r_p = 0.925$), el contenido en sólidos solubles ($r_p = 0.892$), la luminosidad de la pulpa ($r_p = 0.893$) así como el índice RPI ($r_p = 0.937$) de las muestras en base a la información obtenida por los acelerómetros instalados en los dedos de la garra robótica.

En cuanto a los ensayos realizados de manera in-line, el primer prototipo desarrollado se basó en la integración de dos sondas VIS-NIR en una garra robótica dispuesta con dos acelerómetros. El sistema desarrollado permitió alcanzar una buena estimación de la calidad del mango a través del índice RPI logrando un R^2_p de 0.832 fusionando la información tanto de los espectros VIS-NIR como del impacto no destructivo de los acelerómetros. De este modo quedó demostrado que era posible obtener una predicción similar trabajando de forma in-line como trabajando de manera off-line para la predicción del mismo índice de calidad en mangos. El segundo prototipo in-line desarrollado se basa en la integración de una sonda VIS-NIR en una cinta transportadora para la identificación de distintas variedades y orígenes de manzanas, alcanzándose con el sistema un éxito de clasificación del 98 %. El prototipo desarrollado permitió registrar resultados de clasificación tan buenos como los efectuados de manera off-line con, por ejemplo, nectarina.

De este modo, se puede concluir que la espectroscopia VIS-NIR permite monitorear la calidad y clasificar fruta poscosecha tanto en modo off-line como in-line, siendo una herramienta que permite mejorar y garantizar la correcta calidad y seguridad alimentaria. Los nuevos prototipos desarrollados aportan claras ventajas respecto a los procesos tradicionales realizados a mano, como son la reducción del tiempo de inspección, la disminución de la cantidad de residuos generados por los análisis destructivos de calidad y la posibilidad de inspeccionar toda la producción, obteniendo así un análisis más estandarizado de la calidad de los productos.