

## **CAPITULO 8:**

# **CONCLUSIONES**

El objetivo primordial de este estudio ha sido valorar la posibilidad de utilizar una nariz electrónica para monitorizar el proceso de maduración de diferentes variedades de fruta. Para alcanzar dicha meta se planificaron dos etapas: un primer estudio de viabilidad y un segundo estudio mucho más completo, con objetivos concretos y con una valoración más objetiva de resultados, comparando la eficacia del sistema de olfato electrónico con técnicas de control de calidad de fruta

La primera etapa requería la construcción de un prototipo en el que las consideraciones operativas eran obviadas para centrarse en su objetivo: ver si la fruta emitía suficientes volátiles como para ser detectados por la matriz de sensores y ver si las variaciones en la producción aromática durante el proceso de maduración eran captadas por el instrumento.

El prototipo captó perfectamente las emisiones generadas por las peras, tanto en su intensidad como en su evolución, lo que generó buenas expectativas en cuanto a la posibilidad de utilizar una nariz electrónica para monitorizar el proceso de maduración de peras. Las pruebas realizadas con redes neuronales demostraron que el sistema de olfato electrónico podía clasificar las muestras tan bien como un operario especializado,

a pesar de entrenar con un grupo de fruta y realizar la evaluación en otro con piezas totalmente distintas.

Los melocotones presentaron problemas desde el punto de vista de nivel de señal, lo que se solucionó temporalmente realizando varias inyecciones en la cámara de medida. Sin embargo, una vez solucionado ese problema, las tendencias eran claras y así lo confirmaron las concordancias entre las clasificaciones hechas por el operario y las realizadas por las redes neuronales del prototipo. Además, la determinación del número de días de “shelf life” fue una tarea objetiva que la nariz realizó con gran exactitud .

En el caso de las manzanas, el prototipo captaba bien la presencia de volátiles pero la evolución de la señal no era tan clara. Por ese motivo la clasificación no tuvo tanto éxito como en el resto de fruta. De las tres variedades es en la que los resultados fueron peores, algo confirmado por estudios realizados por otros equipo de investigación.

En definitiva, las conclusiones obtenidas tras el primer año de trabajo fueron muy interesantes. En primer lugar, se confirmó que era viable la monitorización del proceso de maduración con una nariz electrónica, aunque también dejó bien claro que las conclusiones obtenidas para una variedad no tenían por que funcionar en otra. Otros resultados importantes fueron el descubrir la importancia del peso y superficie como señales de normalización de los datos y la necesidad de diseñar un proceso de muestreo que permitiese aprovechar mejor los volátiles generados por la fruta, con el propósito de generar una señal más fuerte en los sensores, sobre todo cuando las piezas estaban verdes.

El segundo prototipo se diseñó a partir de la experiencia obtenida con el primero. Se automatizó gracias al diseño de un circuito de flujo continuo, que a su vez perfeccionaba el método de muestreo al arrastrar todos los volátiles de la cámara de concentración a la de medida utilizando una bomba de aire y varias electroválvulas. Este sistema permitió obtener buenas señales en las tres variedades estudiadas el segundo año. Además, un diseño modular facilitó experimentar con gran variedad de sensores.

El estudio de la deriva de los sensores fue uno de los aspectos diferenciales de los estudios realizados en la segunda temporada. Se comprobó que los sensores Taguchi (serie 8) y FIS (serie SP) no presentaban derivas apreciables tras un mes de funcionamiento, mientras que los sensores FIS (serie SB) fueron apartados del estudio debido a su fuerte deriva temporal, característica que puede falsear los resultados al ser la maduración un proceso que está íntimamente ligado al paso del tiempo.

De todas formas, el equipo permitió obtener señales muy claras para las tres variedades de fruta estudiadas, confirmando que el sistema de flujo continuo muestrea mejor los volátiles de la fruta, además de ser fácilmente automatizable.

Otra de las novedades que introdujeron los estudios del segundo año fue la correlación entre indicadores de calidad y señales de la matriz de sensores. Los resultados demuestran que para cada variedad se pueden predecir algunos indicadores de forma no destructiva pero, salvo la firmeza, estos indicadores no son necesariamente los mismos en cada variedad.

Algunos de estos indicadores sirven, fundamentalmente, para determinar el nivel de maduración de las piezas medidas. Cuando la nariz es capaz de estimar su valor correctamente a partir de sus señales se está demostrando que es posible monitorizar el proceso de maduración de forma no destructiva. Aunque estos resultados puedan parecer sorprendentes, lo cierto es que los cambios fisiológicos que se producen en la fruta climatérica a lo largo de su maduración son fruto de procesos químicos que también liberan componentes volátiles a la atmósfera, por lo que existe una clara relación entre los parámetros físico-químicos como la firmeza y los volátiles generados por la fruta en concentración.

Otros indicadores, fundamentalmente los que componen el análisis del perfil aromático de la fruta, además de poder indicar el nivel de maduración, son excelentes parámetros para medir la calidad organoléptica de la fruta, ya que sus cualidades gustativas están íntimamente relacionadas con su aroma. Por lo tanto, la correcta predicción de algunos de ellos está indicando que un sistema de olfato electrónico podría constituir un instrumento no destructivo de medición de la calidad organoléptica de la fruta.

Los buenos resultados obtenidos en este trabajo describen la eficiencia de un sistema de laboratorio, equipo que trabaja en unas condiciones diferentes a las que debería trabajar un sistema comercial. Para que una nariz electrónica pueda ser utilizada como instrumento de medición en la industria frutícola es necesario estudiar y minimizar algunos problemas que son permisibles en un sistema de laboratorio, pero que no son controlables en el mundo industrial.

Uno de los aspectos que debe perfeccionarse es el proceso de calibración. La configuración actual del equipo requiere realizar calibraciones para cada variedad de fruta, por muy parecidas que sean las variedades entre sí. Además, las derivas a largo plazo de los sensores pueden invalidar las calibraciones entre dos temporadas consecutivas. Para solucionarlo es necesario perfeccionar la tecnología de los sensores semiconductores o diseñar algoritmos de procesamiento de señal que minimicen los efectos de las derivas a largo plazo en el funcionamiento del equipo.

En segundo lugar, las mediciones requieren un tiempo de concentración elevado, lo que hace poco práctico realizar un control de calidad o maduración sobre toda una producción. Por lo tanto, en su configuración actual, la monitorización se realizaría sobre una muestra significativa de la población, aproximación que, de todas formas, utilizan todas las técnicas de control de calidad que se aplican hoy en día.

Por último, las influencias de humedad y temperatura deben ser estudiadas en profundidad ya que sólo en condiciones de laboratorio pueden ser controladas satisfactoriamente. En una utilización comercial deben monitorizarse y compensar su efecto, algo que puede complicar el proceso de calibración para cada variedad de fruta.

En su estado actual, el prototipo de flujo continuo diseñado en este trabajo tendría aplicación en laboratorios con temperatura y humedad controlada y su uso comercial se debería limitar a variedades de fruta de gran valor económico que justificasen la pérdida de tiempo en el control no destructivo de su maduración o calidad. Siguiendo esta argumentación se hicieron algunas pruebas preliminares con sandías.

Desgraciadamente, su gruesa piel no permite obtener ninguna señal aromática que permita determinar si esta en su punto óptimo de recolección o consumo.

Una posible aplicación de una variante del prototipo diseñado sería el control de cámaras de conservación, en las que el enrarecimiento de su atmósfera puede ser síntoma de un proceso no deseado de maduración. De todas maneras, esta aplicación requiere ser estudiada ya que los sensores deberían trabajar en condiciones extremas de temperatura, humedad y de nivel de oxígeno si la atmósfera de la cámara está controlada.

La conclusión final del estudio es que, aunque es factible la utilización de un sistema de olfato electrónico para monitorizar el grado de maduración de la fruta, su interés comercial está supeditado a la solución de los problemas mencionados en este capítulo.