

CAPITULO 6: **MEDIDAS CON PERAS**

6.1 INTRODUCCIÓN

La segunda variedad de fruta que se estudió con los prototipos de olfato electrónico fueron peras. Una vez más, la primera temporada se realizó un estudio de viabilidad con el primer prototipo, mientras que en el segundo año se realizó un estudio más completo con el prototipo de flujo continuo. Tanto la metodología como los objetivos perseguidos en el estudio preliminar son similares a los expuestos para las manzanas. Como complemento a esta memoria, el lector puede consultar en [6.1] la descripción de las experiencias de la primera temporada y en [6.2,3] se pueden encontrar los resultados obtenidos con el sistema de flujo continuo.

Los estudios del primer año se centraron en comprobar el nivel de señal que generaban los volátiles emitidos por las peras así como si se detectaba una evolución a lo largo del proceso de maduración. El segundo año se realizó un estudio de la madurez de las piezas tras diferentes intervalos de frigoconservación. El estudio con parámetros de calidad fue mucho más completo que con las manzanas, ya que, por primera vez en este estudio, se identificaron y cuantificaron volátiles producidos por la fruta mediante cromatografía de gases. Este estudio paralelo permitió comparar la eficacia de la nariz electrónica frente a un método con tanta resolución como la cromatografía de gases.

6.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD

6.2.1 Objetivos

El objetivo primordial del estudio preliminar era comprobar si una nariz electrónica podía identificar el estado de maduración de las peras a lo largo de su proceso de maduración en condiciones ambientales (maduración de “shelf life”). Para ello es imprescindible que la concentración de volátiles de la fruta provoque en la matriz de sensores una respuesta que evolucione medida que avanza el estado de maduración de las muestras medidas con el instrumento.

Al igual que en el caso de las manzanas, tras la medición con la nariz electrónica un operario clasifica las muestras en tres estados posibles de maduración y se compara dicha clasificación con la que realiza el prototipo de olfato electrónico. Una vez más, es importante recalcar que la determinación del estado de maduración por parte del operario sigue un criterio subjetivo, por lo que los resultados indican la coincidencia entre el operario y el instrumento.

6.2.2 Metodología experimental

El estudio de viabilidad con peras se realizó con muestras de la variedad “Blanquilla” obtenidas de una cooperativa de Mollerusa, en la provincia de Lleida. Se cogieron 60 muestras que habían sido recolectadas el 22 de agosto. Estas muestras se dividieron en 3 grupos de 20 piezas cada uno. Los dos primeros grupos se empezaron a medir con el prototipo el 28 de setiembre, mientras que el grupo 3 se conservó en una cámara frigorífica a una temperatura de 0.5°C aproximadamente desde el 28 de setiembre hasta el 26 de octubre, día en el que se empezaron a medir. En total se midieron 60 peras y se realizaron 39 experimentos con la nariz electrónica.

Las peras estudiadas llevaban un mes en cámara frigorífica cuando se seleccionaron para el estudio. Las condiciones de conservación fueron una temperatura de 0.5°C y una

atmósfera controlada con unos porcentajes de oxígeno y de anhídrido carbónico del 2.5% en ambos casos.

El proceso que se siguió para realizar medidas con la nariz electrónica y con técnicas destructivas de forma paralela fue el mismo que para las manzanas. En este caso, cada grupo de 20 peras fue subdividido en dos subgrupos (el de medida y el de reserva) con diez piezas cada uno de ellos.

Tras unas primeras pruebas para comprobar el nivel de señal, se constató que los aromas producidos por las peras provocaban señales muy claras en los sensores, mucho más fuertes que las de las manzanas, por lo que se consideró suficiente concentrar la fruta una hora e inyectar 50 ml de la atmósfera de la cámara de concentración en la de medida de una sola vez.

Salvo restricciones debidas a los recursos disponibles, se intentó realizar una medida diaria a cada uno de los grupos de peras. Así, al principio, en cada jornada de medición se realizaron dos medidas diarias (una para el grupo 1 y otra para el grupo 2). Cuando se acabaron estas medidas se procedió a medir el grupo 3 en solitario. Al igual que con las manzanas, en cada medida se pesaba todo el grupo y se obtenía el perímetro medio de las piezas. Además, las medidas sucesivas con nariz electrónica se espaciaron una hora para dar tiempo a los sensores a recuperar su estado inicial. La tabla 6.1 muestra el número total de medidas que se hicieron para cada grupo.

Grupo	Número de medidas
1	14
2	14
3	11

Tabla 6.1: Número de medidas realizadas con cada grupo

Las técnicas destructivas aplicadas fueron las mismas que para las manzanas: la penetromía, acidez y sólidos solubles. Para poder monitorizar el proceso de maduración durante el “shelf life” de la fruta (maduración a 20° y humedad relativa ambiente) por

un período de unos 20 días, las medidas destructivas se practicaron aproximadamente cada dos días. Solo en estas jornadas se realizó la sustitución de la muestra destruida por su pareja de reserva.

6.2.3 Evolución de la señal

La figura 6.1 muestra la evolución de la señal de los sensores para cada uno de los tres grupos de medida. En ella se muestra el parámetro ΔG para cada sensor en cada una de las medidas realizadas con nariz electrónica. En esta gráfica se puede comprobar que la evolución es clara para todos los grupos. Además, recordando que el tercero fue medido con posterioridad (el día 1 de medida de este tercer grupo es posterior a la última medida de los grupos 1 y 2) se puede observar que esta evolución no puede ser imputada a derivas temporales en los sensores.

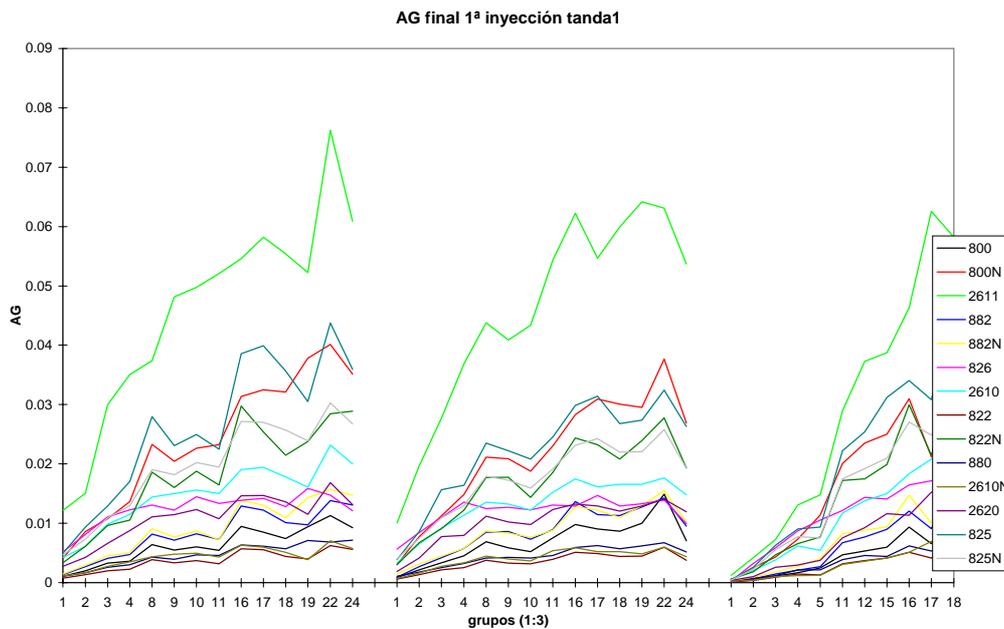


Figura 6.1: Evolución de la señal para los 3 grupos de peras

6.2.4 Resultados

La figura 6.1 ya nos permite intuir que los resultados pueden ser buenos ya que la matriz de sensores parece seguir la evolución del proceso de maduración de las piezas medidas. Al igual que con las manzanas, la primera aproximación consistió en plasmar en un diagrama PCA las 48 medidas y observar si en alguna de las componentes

principales se observaba alguna tendencia a destacar. La figura 6.2 muestra dicho diagrama en el que cada medida ha sido etiquetada con su número de orden. Cada color representa un grupo diferente, siendo el grupo 1 de color rojo, el grupo 2 de color azul y el 3 de color añil.

Los datos de entrada para realizar el PCA fueron el incremento de conductancia de todos los sensores. En esta figura se puede observar una clara evolución de las medidas de izquierda a derecha, de forma que la variación de la señal queda concentrada sobre la primera componente principal. Esto, una vez más, nos indicará que el seguimiento del proceso de maduración se puede hacer con pocos sensores. La proyección de componentes principales de menor importancia no aportan información interesante.

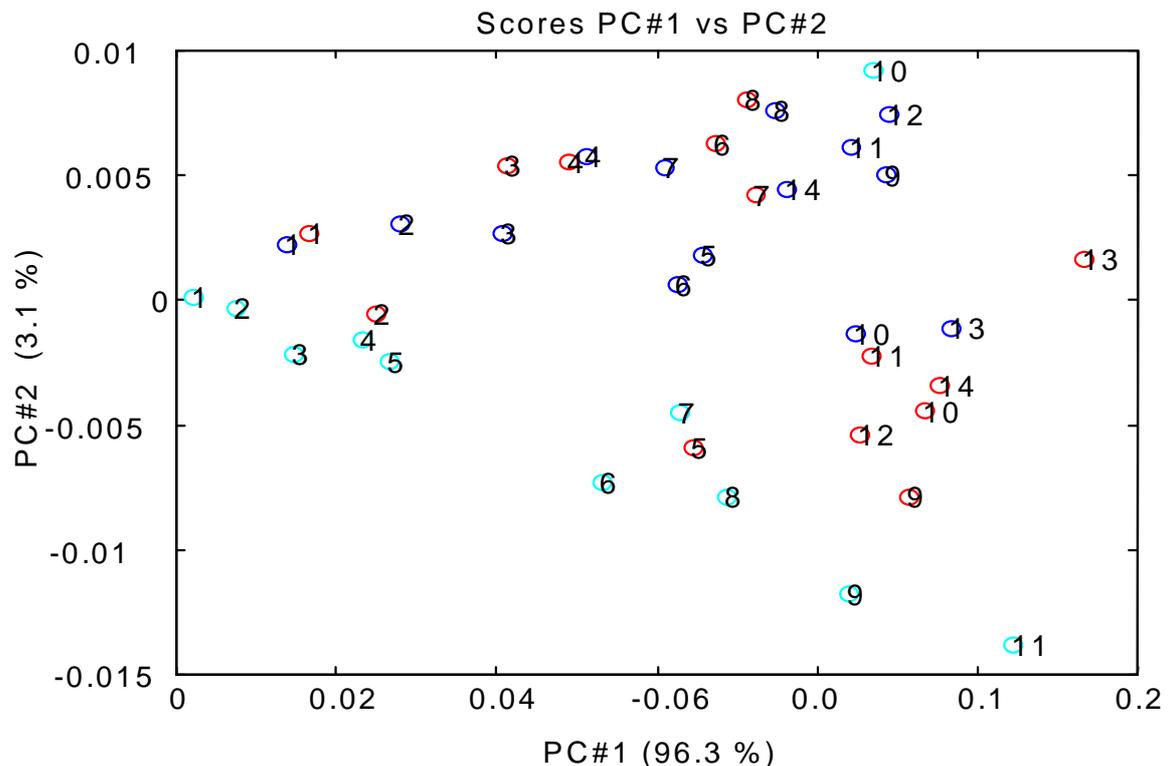


Figura 6.2: Diagrama PCA de las dos primeras componentes principales de los 3 grupos de peras.

Para comprobar si era posible realizar una clasificación del estado de maduración de las piezas se utilizó una red neuronal. El objetivo era el mismo que para las manzanas, clasificar cada una de las medidas como fruta verde, madura o sobremadura. El tipo de

red neuronal fue el mismo que el descrito en la figura 5.4. Siguiendo el criterio de sensibilidad descrito en el capítulo 4, se escogieron los sensores que detalla la tabla 6.2 .

Sensores
800N
2610
825
825N

Tabla 6.2: Sensores escogidos para la red neuronal

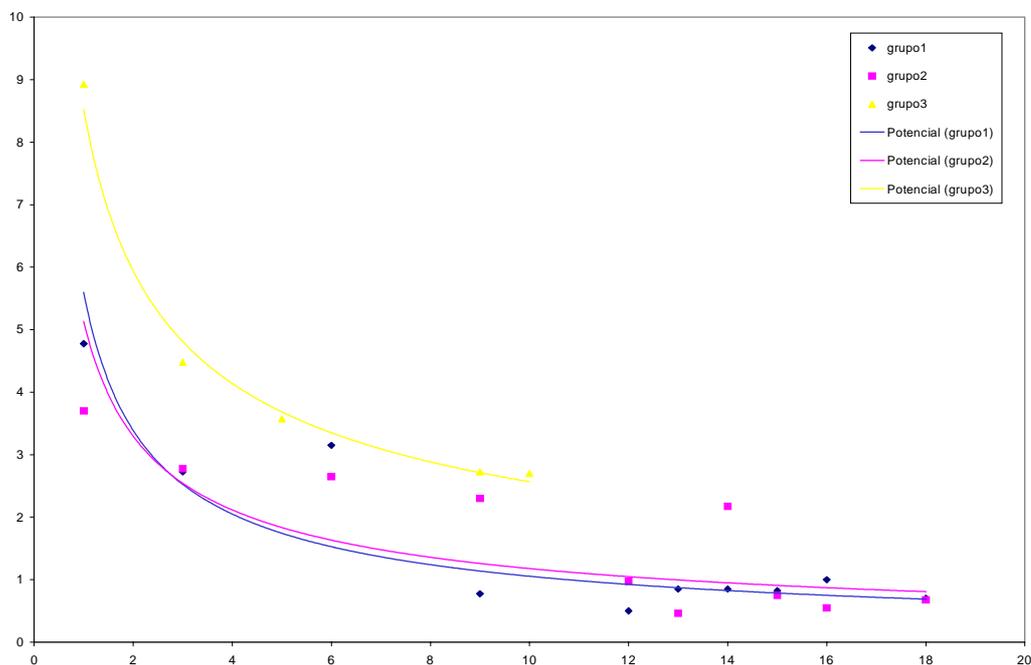


Figura 6.3: Evolución de la firmeza para los tres grupos de peras

La figura 6.3 muestra los valores de penetromía interpolados para los tres grupos frente a los días de shelf life, en los que se puede comprobar una evolución similar para los grupos 1 y 2 y otra ligeramente diferente para el grupo 3. Como la penetromía se realizó cada dos jornadas de mediciones, los valores originales están representados por puntos y la interpolación de la tendencia por una línea sólida.

La determinación de la clasificación correcta volvió a realizarse de forma subjetiva por un operario, aunque en este segundo intento la firmeza fue el factor determinante para

esta clasificación. La tabla 6.3 muestra los valores que el operario finalmente fijó arbitrariamente como frontera entre los tres estados de maduración. Los sólidos solubles y la acidez no aportaron información útil ya que las tendencias eran muy erráticas. Los casos dudosos fueron clasificados a través del aspecto externo de la fruta y la experiencia del operario.

	Verde	Madura	Sobremadura
Peras	$p > 2 \text{ kg.}$	$1 \text{ kg.} < p < 2 \text{ kg.}$	$p < 1 \text{ kg.}$

Tabla 6.3: Valores frontera de penetromía para cada grado de maduración

El proceso de entreno y evaluación se realizó a través de una validación cruzada de orden 3, de forma que se hicieron tres iteraciones en las que se entrenaba con todas las medidas de dos de los tres grupos de peras y se evaluaba con las medidas del grupo restante. La tabla 6.4 muestra los resultados en los que se puede comprobar el alto nivel de éxito conseguido. Las diferentes combinaciones de parámetros de entrada consideradas incluyeron los valores del peso medio y superficie y los parámetros G_i , G_f y ΔG de los sensores mostrados en la tabla 6.2.

Variabes	n° sensores	Sensores	n° inputs	Neuronas ocultas	Aciertos/ Medidas	% ok
G_o, G_f, p, s	4	800N, 2610, 825, 825N	10	6	34/39	87.17
$\Delta G, p, s$	4	800N, 2610, 825, 825N	6	2,4,6	35,32,31/39	89.74
$\Delta G, p, s$	1	2610	3	2,4,6	35,36,35/39	92.3
$\Delta G, p, s$	2	800N, 2610	4	2,4,6	33,35,34/39	89.74
$\Delta G, p, s$	2	800N, 825	4	2,4,6	34,37,36/39	<u>94.87</u>
$\Delta G, p, s$	2	800N, 825N	4	2,4,6	33,32,30/39	84.61
$\Delta G, p, s$	2	2610, 825	4	2,4,6	36,32,37/39	<u>94.87</u>
$\Delta G, p, s$	2	2610, 825N	4	2,4,6	34,36,34/39	92.3
$\Delta G, p, s$	2	825, 825N	4	2,4,6	36,37,34/39	<u>94.87</u>

Tabla 6.4: Aciertos con la red neuronal para las 39 medidas con peras

Con un acierto del 94% ya no se hicieron pruebas utilizando solamente los grupos 1 y 2 de peras. Además, el acertar 37 de 39 medidas se da para diferentes combinaciones de sensores, lo que indica que no es crítico el utilizar un modelo concreto de sensor, ya que hay varios de ellos que siguen correctamente el proceso de maduración de esta variedad de fruta. Sin embargo, en todas las combinaciones exitosas aparecen los parámetros de peso y superficie medios.

6.2.5 Conclusiones

Con unos resultados tan claros se puede afirmar rotundamente que la nariz electrónica puede seguir con facilidad el proceso de maduración de esta variedad de peras. Los resultados óptimos se alcanzan con diferentes combinaciones de sensores en las que el peso y superficie son parámetros siempre presentes. Por todo ello, con el segundo prototipo se perseguirán objetivos con una segunda variedad de peras que permitan corroborar los resultados obtenidos en este estudio preliminar.

6.3 MEDIDAS EN FLUJO CONTINUO

6.3.1 Objetivos

Debido a los buenos resultados obtenidos con el primer prototipo, los objetivos para la segunda temporada fueron más ambiciosos, ya que se utilizó la nariz electrónica para monitorizar los efectos de diversos factores en el proceso de maduración de las peras, comparando la eficacia del segundo prototipo con la de otras técnicas de control de calidad en fruta.

Por lo tanto, el objetivo primordial de esta segunda experiencia con peras fue el comparar la eficacia de las mediciones con nariz electrónica frente a la mayoría de las técnicas que se utilizan para monitorizar la calidad de las peras. De entre ellas, la más novedosa y completa consiste en caracterizar su perfil aromático a lo largo de su

maduración mediante cromatografía de gases y muestreo por espacio de cabeza dinámico.

Las comparaciones se realizaron al monitorizar el proceso de maduración de las peras tras diferentes intervalos de frigoconservación, diferentes fechas de recolecta y número de días de maduración “en estantería”. Mediante técnicas de reconocimiento de patrones se realizaron clasificaciones no supervisadas para ver como afectaban estos tres factores y después se realizaron correlaciones entre las señales de los sensores y los parámetros extraídos con las técnicas de calidad.

6.3.2 Metodología experimental

Para el estudio se utilizaron peras de la variedad 'Doyenne du Comice' (*Pyrus communis* L). Estas peras se cosecharon en una finca de la provincia de Lleida. En cada recolecta se cogieron 500 muestras, la mitad de las cuales se destinaron al laboratorio de postcosecha en la Universidad de Lleida y la otra mitad se transportaron al Laboratorio de Sensores de Gases y Nariz Electrónica en Tarragona. Se realizaron cinco recolectas espaciadas una semana entre ellas, desde el 23 de agosto hasta el 8 de setiembre.

Las muestras de cada recolecta fueron divididas en cinco grupos en cada uno de los laboratorios. El primer grupo se utilizó para realizar un seguimiento de “shelf life” tras cada recolecta, mientras que los cuatro grupos restantes se almacenaron en una cámara de frigoconservación. Tanto en Lleida como en Tarragona las piezas se almacenaron a la misma temperatura (1°C) y humedad relativa (90%). Cada uno de los grupos se almacenó un período de tiempo diferente, desde una semana para el grupo 2 hasta 4 para el grupo 5. El objetivo era estudiar el proceso de maduración de la fruta a temperatura ambiente en función del número de semanas de frigoconservación.

Las medidas del proceso de maduración a temperatura ambiente (“shelf life”) fueron realizadas tras uno, cuatro y siete días después de la recolección (para el grupo 1) o salida de la cámara de frigoconservación (para los grupos 2 a 5). Como se planificaron 5

recolectas, de cada una se separaron cinco grupos y cada uno de ellos fue medido en tres ocasiones (1, 4 y 7 días de “shelf life”), se realizaron un total de 75 medidas con nariz electrónica en Tarragona y 75 medidas con técnicas de control de calidad de fruta en Lleida. En el proceso de correlación, las medidas realizadas con nariz electrónica fueron emparejadas con las medidas de calidad ejecutadas en Lleida. Aunque las muestras eran físicamente diferentes, las parejas estaban formadas por piezas del mismo cultivo, recolectadas el mismo día y con idénticos períodos de frigoconservación y de “shelf life”. Las medidas realizadas en Lleida incluyeron técnicas clásicas y otras más novedosas. Las técnicas físico-químicas aplicadas fueron la acidez, la penetromía, los sólidos solubles, el índice de almidón y la colorimetría.

La utilización de un cromatógrafo permitió realizar medidas sobre la producción de volátiles que la fruta genera durante su maduración. Dicho instrumento permitió realizar mediciones sobre la identidad y cantidad de 14 volátiles aromáticos además de etileno y CO₂. En total, de cada medida de calidad se obtuvieron 21 indicadores. La tabla 6.9 (que se encuentra en la página 164) muestra, además de otros datos, los 14 aromas que fueron identificados y cuantificados cromatográficamente para las 75 medidas realizadas en Lleida.

6.3.3 Clasificación no supervisada

Con el fin de determinar como afectan los factores mencionados al proceso de maduración, en primer lugar se realizó un análisis PCA con las 75 medidas. Para comparar la resolución de la nariz electrónica frente a las técnicas establecidas se realizaron las proyecciones partiendo de las señales de los sensores y de los indicadores de calidad.

La figura 6.4 muestra la proyección sobre las dos primeras componentes principales de las 75 medidas definidas por los 21 parámetros de calidad. En dicha gráfica cada medida es codificada a partir del color y de un número. Así, las medidas realizadas el día 1 de “shelf life” están rotuladas en color verde, las de 4 días de color azul y las de

siete en color rojo. A su vez, el primer dígito de cada etiqueta representa la recolecta y el segundo el grupo al que pertenece la fruta medida.

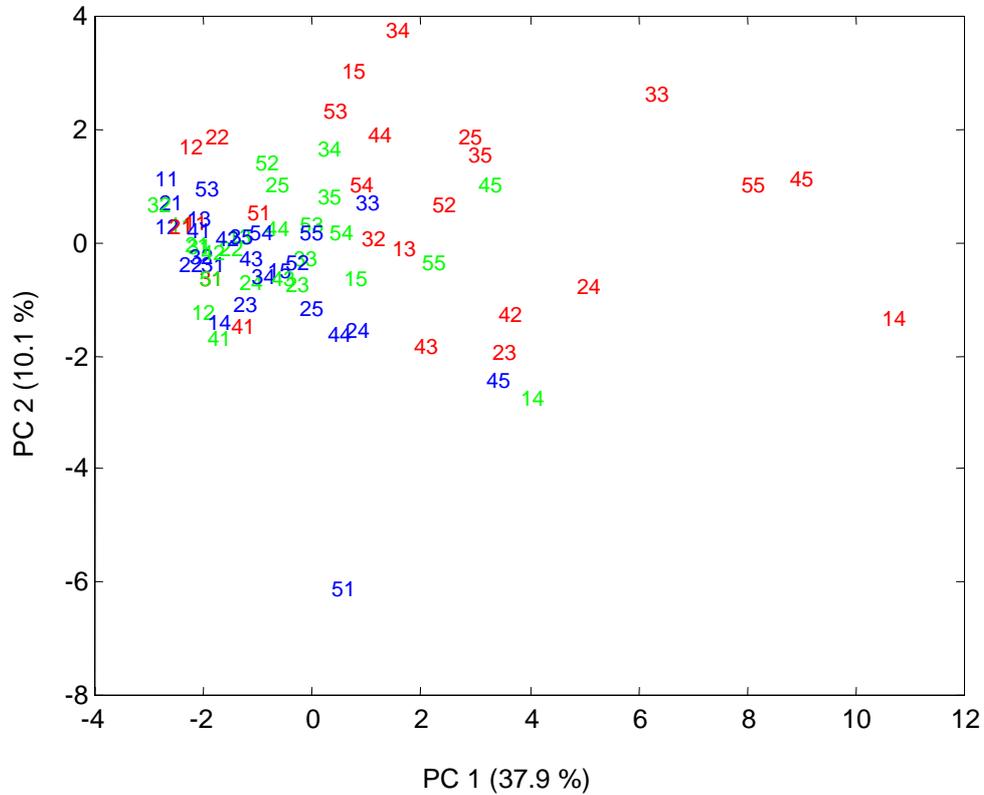


Figura 6.4: Diagrama PCA de las 75 medidas descritas por los 21 indicadores de calidad

Se puede observar que en la proyección obtenida con los indicadores de calidad no se puede definir ninguna agrupación clara. Lo único que se observa es la tendencia a que las medidas de uno o cuatro días de “shelf life” se mantengan a la izquierda y las de siete días se prolonguen hacia la derecha. Proyecciones con componentes principales de menor varianza dieron siempre resultados peores.

La proyección PCA de las medidas realizadas con la nariz electrónica se muestra en la figura 6.5. Se probaron diferentes combinaciones de parámetros y en dicha figura se muestra el mejor resultado considerando el parámetro “separación”. Como las medidas de “shelf life” se realizaron tras uno, cuatro y siete idas desde la salida de la cámara de concentración (o recolecta), se consideró que la agrupación natural debía seguir ese

criterio al definir dicho parámetro. La mejor resolución se consiguió con el parámetro ΔG para los sensores taguchi 800, 822, 882 y 825.

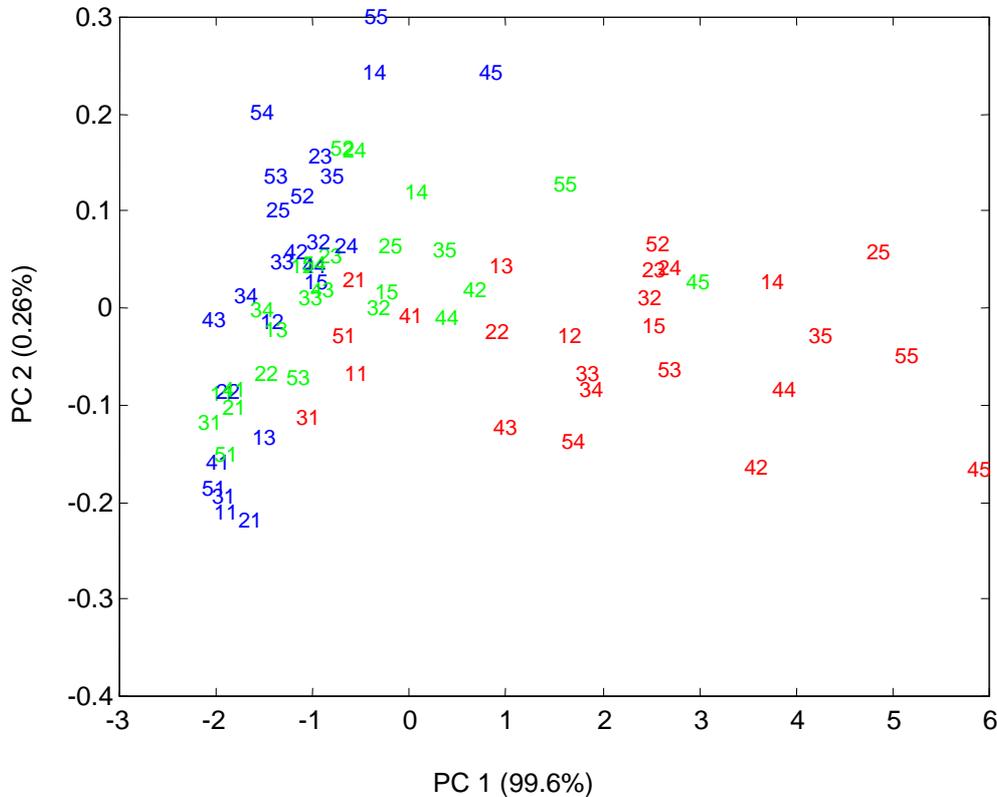


Figura 6.5: Proyección PCA de las medidas realizadas con la nariz electrónica

En la gráfica se puede observar que la mayoría de las medidas del séptimo día de shelf-life están bastante separadas de las medidas del primer y cuarto día. Solamente cinco medidas de fruta con siete días de “shelf life” están mezcladas con las medidas realizadas en días anteriores. Estos “outliers” pertenecen al primer grupo de cada recolecta, precisamente las muestras de fruta que no pasaron por el frigorífico. Un estudio realizado sobre esta variedad de peras llega a la conclusión de que para acelerar el proceso de maduración tras la recolecta es necesario un periodo de frigoconservación. Como la nariz electrónica sensa volátiles que están relacionados con dicho proceso estos “outliers” confirman las conclusiones de dicho estudio, ya que el sistema de olfato electrónico detecta que las peras que no han pasado por frigoconservación están en un estadio de maduración muy atrasado tras siete días de “shelf life”.

Aparte de estos “outliers” sólo dos muestras del día cuatro quedan proyectadas dentro de la agrupación del día 7 y una medida más está justo en la frontera. Las dos primeras pertenecen al quinto grupo (cuatro semanas de frigoconservación) de la penúltima y última recolecta, por lógica las muestras con un estado de maduración más avanzado tras cuatro días de shelf life por haber estado más tiempo en frigoconservación y haber sido recolectadas en las últimas fechas planeadas. Solo la medida de la frontera puede considerarse un verdadero “outlier” ya que pertenece al grupo dos y a la cosecha 4.

Buscando más tendencias en la gráfica se puede concluir que el factor que domina el proceso de maduración son los días de shelf life. Una mirada dentro del cluster “rojo” permite ver que medidas de un mismo grupo están más cerca entre sí que medidas de una misma cosecha, un comportamiento que permite deducir que el segundo factor en importancia es el tiempo de frigoconservación, mientras que el que afecta menos es la fecha de la recolecta. Estas conclusiones están en consonancia con las derivadas del estudio clásico con las muestras de Lleida.

Para eliminar toda identificación subjetiva de las agrupaciones en el diagrama PCA se aplicaron algoritmos de clasificación no supervisada Fuzzy Art. La tabla 6.5 muestra las clases a las que cada medida fue asignada de forma espontánea, sin aprendizaje previo.

Clase	Medidas
1	H1G1D1, H1G1D4, H1G1D7, H1G2D1, H1G2D4, H1G3D1, H1G3D4, H1G4D1, H1G4D4, H1G5D1, H1G5D4, H2G1D1, H2G1D4, H2G1D7, H2G2D1, H2G2D4, H2G3D1, H2G3D4, H2G4D1, H2G4D4, H2G5D1, H2G5D4, H3G1D1, H3G1D4, H3G1D7, H3G2D1, H3G2D4, H3G3D1, H3G3D4, H3G4D1, H3G4D4, H3G5D1, H3G5D4, H4G1D1, H4G1D4, H4G1D7, H4G2D1, H4G3D1, H4G3D4, H4G4D1, H4G4D4, H4G5D1, H5G1D1, H5G1D4, H5G1D7, H5G2D1, H5G2D4, H5G3D1, H5G3D4, H5G4D1, H5G4D4, H5G5D1
2	H1G2D7, H1G3D7, H1G4D7, H1G5D7, H2G2D7, H2G3D7, H2G4D7, H3G2D7, H3G3D7, H3G4D7, H4G2D4, H4G3D7, H4G5D4, H5G2D7, H5G3D7, H5G4D7, H5G5D4
3	H2G5D7, H3G5D7, H4G2D7, H4G4D7, H4G5D7, H5G5D7

Tabla 6.5: Clasificación Fuzzy Art con las señales de la nariz electrónica

Lo único que se controló fue el parámetro de vigilancia para que en cada prueba se clasificaran las medidas en tres categorías diferentes (teóricamente una para cada día de shelf life). En dicha tabla, cada medida está descrita por una etiqueta cuyo primer número (de H1 a H5) identifica la cosecha, el segundo el grupo (de G1 a G5) y el tercero el día (D1, D4 o D7). Los resultados confirman el comportamiento observado en el PCA, ya que las cinco medidas del grupo 1 realizadas el séptimo día de shelf life se clasifican en la categoría 1. Solo tres “outliers” están clasificados en la clase 2, los mismos que aparecieron en el análisis PCA. Al igual que en ese análisis, dos de estas tres medidas pertenecen al grupo que estuvo más semanas en frigoconservación, confirmando la tendencia de aceleración del proceso de maduración cuando las piezas están un tiempo prolongado en la cámara. La medida H4G2D4 es la única que puede ser considerada un verdadero “outlier” sin explicación biológica para su clasificación.

Clase	Medidas
1	H1G1D1, H1G1D4, H1G1D7, H1G2D1, H1G2D4, H1G2D7, H1G3D1, H1G3D4, H1G3D7, H1G4D1, H1G4D4, H1G4D7, H1G5D1, H1G5D4, H1G5D7, H2G1D1, H2G1D4, H2G1D7, H2G2D1, H2G2D4, H2G2D7, H2G3D1, H2G3D4, H2G3D7, H2G4D1, H2G4D4, H2G5D1, H2G5D4, H2G5D7, H3G1D1, H3G1D4, H3G2D1, H3G2D7, H3G3D4, H3G4D1, H3G4D4, H3G5D1, H3G5D4, H5G2D4, H5G3D7
2	H2G4D7 H3G1D7 H3G2D4 H3G3D1 H3G3D7 H3G4D7 H3G5D7 H4G1D1 H4G1D4 H4G1D7 H4G2D1 H4G2D4 H4G2D7 H4G3D1 H4G3D4 H4G3D7 H4G4D1 H4G4D4 H4G4D7 H4G5D1 H4G5D4 H5G1D4 H5G1D7 H5G2D1 H5G3D1 H5G3D4 H5G4D1 H5G4D4 H5G4D7 H5G5D1 H5G5D4
3	H4G5D7 H5G1D1 H5G2D7 H5G5D7

Tabla 6.6: Clasificación Fuzzy Art utilizando indicadores de calidad

La tabla 6.6 muestra la misma clasificación utilizando los 21 indicadores de calidad, en donde se puede observar que no existe una agrupación clara. Lo único que se puede decir es que en la categoría 1 tiene más medidas del día 1 y que la categoría 3 contiene, básicamente, medidas del día 7.

Una vez clara la tendencia y los factores que influyen la velocidad de maduración, se intentó ver si era posible mejorar la clasificación utilizando un algoritmo supervisado.

Para ello, a cada una de las 75 medidas se le asignó un estado de maduración: verde o maduro. El criterio que se siguió para esta asignación ideal fue la de considerar verdes todas las muestras medidas tras uno o cuatro días de shelf life más las cinco medidas del grupo 1 tras siete días de shelf life. El resto de medidas del día 7 fueron consideradas maduras. Utilizando una red neuronal Fuzzy Artmap, con la misma combinación de parámetros de entrada utilizados en el PCA y la red Fuzzy Art, se aplicó un “leave-one-out” que permitió alcanzar un acierto del 94.6% (71 de 75 medidas). Las medidas H4G2D4, H4G4D4 y H5G5D5 fueron erróneamente clasificadas como maduras y la H1G3D7 como verde. Como se recordará, las medidas H4G2D4 y H5G5D5 fueron los mismos “outliers” encontrados en la red Fuzzy Art.

6.3.4 Correlación entre indicadores de calidad y señales de la matriz de sensores

Al igual que con el segundo estudio sobre manzanas, uno de los objetivos de esta experiencia con peras era comparar de forma objetiva las medidas con nariz electrónica frente a las realizadas con las técnicas de control de calidad. A diferencia del estudio anterior, en este caso un total de 21 indicadores fueron extraídos de cada medida.

Es importante recordar que en esta experiencia las muestras medidas con la nariz electrónica eran diferentes de las que se sacrificaron en Lleida para obtener indicadores de calidad. A pesar de ser recolectadas en la misma partida, en la misma fecha, pasar un intervalo de frigoconservación idéntico y esperar un mismo número de días de “shelf life”, la variabilidad inherente a la fruta es una interferencia difícil de obviar en este tipo de comparaciones.

Aunque inicialmente se consideró la posibilidad de utilizar redes neuronales para realizar predicciones, al final se descartaron debido a que para funcionar bien requieren de un nutrido número de medidas de entreno y el proceso de aprendizaje es computacionalmente muy costoso. Una vez más se creyó conveniente utilizar modelos PLS, mucho más rápidos de calcular y que ofrecían la posibilidad de ser acoplados a algoritmos genéticos para la selección de las variables de entrada.

Como el número de sensores era muy elevado, y de cada sensor se pueden extraer múltiples parámetros (estáticos y dinámicos) se planteó la necesidad de utilizar algún algoritmo de selección de variables. Se escogió un algoritmo genético por su facilidad de acople con el algoritmo PLS. Además de los parámetros de los sensores, se incluyeron variables con información de peso, superficie y humedad relativa de cada medida. La tabla 6.7 muestra los parámetros con los que se invocó al algoritmo genético. En la correlación de cada uno de los 21 indicadores dicho algoritmo intentó encontrar una combinación de parámetros que optimizase el poder de predicción del equipo.

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	128
Número máximo de generaciones	250
Probabilidad de mutación	0.005
Criterio de convergencia	100%
Crossover	Doble
Nº máximo variables latentes	10
Orden de la validación cruzada	3
Iteraciones	1

Tabla 6.7: Parámetros del algoritmo genético

Como dicho algoritmo es computacionalmente eficiente, se pudo aplicar una correlación cruzada de orden 1. Para cada uno de los 21 indicadores se crearon 75 modelos PLS para realizar las predicciones. En cada iteración se autoescalaron los datos de las medidas de entreno y la medida restante de evaluación se centró y escaló con la media y varianza del conjunto de medidas de aprendizaje.

Parámetro	Ssq	Coef. Corr.	Lv
Firmeza	16.22	0.89	9
Contenido en sólidos solubles	102.12	0.32	7
Acidez tritratable	65.17	0.48	6
Índice de almidón	42.50	0.68	6
Saturación $(*a^2+*b^2)^{1/2}$	28.51	0.80	7

Tabla 6.8: Resultados en las predicciones físico-químicas

La tabla 6.8 muestra el coeficiente de correlación, el error cuadrático medio (Ssq) y el número de variables latentes óptimas (lv) en la predicción de indicadores clásicos. En dicha tabla se puede observar que la firmeza y la saturación del color son los indicadores mejor predichos. La figura 6.6 muestra una representación gráfica de dichas predicciones. Hay que recordar que los valores representados están centrados y escalados, por lo que los valores numéricos en la gráfica no representan los valores reales obtenidos al aplicar cada una de las técnicas.

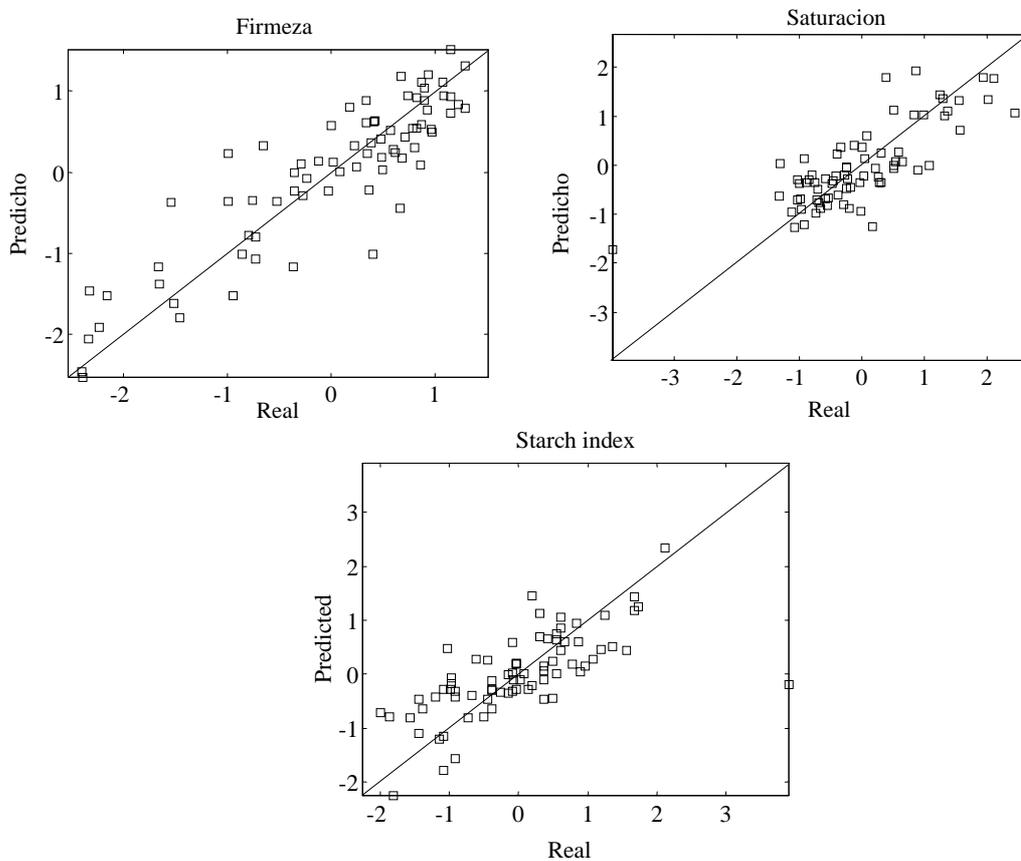


Figura 6.6: Gráficas de las mejores predicciones de parámetros físico-químicos

La mejores predicciones para componentes volátiles se obtuvieron para el acetato de butilo y para el acetato de propilo. La figura 6.7 muestra las gráficas de ambas predicciones y la tabla 6.9 el coeficiente de correlación, el error cuadrático medio y el número óptimo de variables latentes para la predicción de cada indicador.

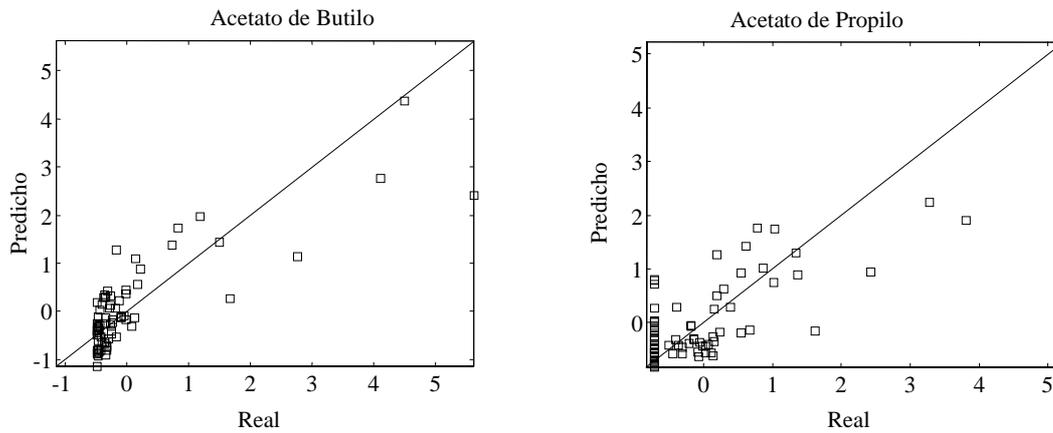


Figura 6.7: Representación gráfica de las mejores predicciones de volátiles

Aroma	Ssq	Corr. Coef.	Lv
Acetato de Etilo	74.90	0.33	4
Etanol	63.91	0.48	5
<u>Acetato de propilo</u>	43.68	0.70	2
Etileno	58.62	0.59	2
1-Propanol	84.58	0.30	4
<u>Acetato de butilo</u>	29.97	0.82	9
1-Butanol	51.59	0.62	1
CO ₂	52.70	0.61	10
Acetato de hexilo	60.06	0.63	1
hexanoato de etilo	99.46	0.2	4
Acetato 2-Metilpropilo	90.38	0.35	4
Acetato 2-metilbutilo	55.75	0.56	10
Acetato de pentilo	75.66	0.56	1
2-metilo-1-butanol	140.52	0.34	3
Butirato de butilo	60.79	0.59	7
Hexanol	85.18	0.54	1

Tabla 6.9: Resultados en la predicción de volátiles

6.3.5 Conclusiones

Las peras parecen ser especialmente adecuadas para las medidas con nariz electrónica, ya que generan una señal suficientemente clara y además muestran una tendencia muy

acusada durante su proceso de maduración. Es por ese motivo que en la segunda temporada la clasificación según estados de maduración funciona tan bien.

Las correlaciones entre indicadores y señales de la matriz de sensores no es tan buena, debido, fundamentalmente, a que las muestras medidas con la nariz electrónica no eran físicamente las mismas que las utilizadas para extraer indicadores de calidad. Además, a pesar de que se intentó que las condiciones de frigoconservación fueran idénticas, al estar en cámaras diferentes seguro que existieron pequeñas diferencias en temperatura y humedad entre Lleida y Tarragona.

REFERENCIAS

[6.1] Brezmes J.; Llobet E.; Vilanova X.; Saiz G.; Correig X., *Fruit ripeness monitoring using an electronic nose*, *Sensors and Actuators B-Chemical*, (2000), vol 69, num 3, 223-229

[6.2] Brezmes J.; Llobet E.; Vilanova X ; Saiz G; Correig X., *Evaluation of the electronic nose as a novel instrument to assess fruit ripeness*, Eurodeur-airodeur, Paris, Junio 2001

[6.3] Brezmes J; Llobet E; Vilanova; López M.L.; Recasens I, X ; Saiz G; Correig X., *Design and evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness*, IEEE Sensors (enviado)