

(S8-P57)

DESARROLLO DE UN SENSOR DE AROMAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS

**ABELARDO GUTIERREZ, MARICRUZ GARCERÁ, ANA ISABEL PADILLA y
ENRIQUE MOLTÓ**

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Ctra. Moncada-Náquera km 5, 46113
Moncada (Valencia), España, gutierre@ivia.es, Tel: 963424000, Fax: 963424001

Palabras clave: degradación - estado de maduración – reproducibilidad - sensor de gas

RESUMEN

El Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) ha trabajado durante los últimos siete años en el desarrollo de un sensor de aromas basado en sensores de gases semiconductores. En la actualidad, este tipo de sensores se utilizan en muchos sectores, entre ellos, el sector agroalimentario. El sensor de aromas ha demostrado su capacidad de estimar la calidad de dos productos de naturaleza muy diferentes: aceite de oliva y mosto destinado a vinificación.

Por un lado, hoy en día el control de calidad para el aceite de oliva se realiza bien mediante paneles sensoriales, bien mediante análisis químicos. El coste económico es bastante elevado para los dos casos. Los sensores de aromas pueden resolver, parcialmente, este problema. El sensor de aromas permite detectar tres atributos negativos y establecer su intensidad: el rancio, el avinado y el atrojado.

Por otro lado, actualmente apenas existen controles de calidad de las uvas en las bodegas a pesar de la gran influencia que representa su estado en la calidad final del vino. El sensor de aromas supone la posibilidad de incorporar un nuevo sensor a la evaluación de la calidad del mosto, ya que es capaz de predecir de forma rápida el contenido en ácido glucónico procedente de la acción de hongos (*Botrytis cinerea*) sobre la uva en el campo. El bajo coste de los sensores que lo componen y la rápida velocidad de respuesta del sensor de aromas si lo comparamos con otros métodos, permiten hacer pensar en su viabilidad para integrarlo en el proceso productivo de las bodegas.

Los resultados obtenidos con el sensor de aromas permiten asegurar que el Centro de Agroingeniería del IVIA ha desarrollado dos métodos de medida reproducibles que es un logro que pocos grupos de investigación a nivel mundial han conseguido.

DEVELOPMENT OF AN AROMA SENSOR FOR ASSESSING AGROFOOD PRODUCTS QUALITY

Keywords: degradation – maturation state – reproducibility – gas sensor

ABSTRACT

The Centro de Agroingeniería of the Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) has been working during the last seven years in the development of an aroma sensor based on semiconductor gas transducers (MOS sensor). Nowadays, this sort of sensors is in

use in many sectors, including the agro-food sector. The aroma sensor has demonstrated its ability to assess the quality of two very different products: olive oil and grape juice for wine making.

On the one hand, quality control in current production of olive oil is performed by sensory panels and by chemical analysis. In both cases, the costs of such analysis are extremely high and are very time consuming. Cheap electronic sensors can partially solve this problem. Simple electronic devices could automatically detect quality defects of olive oil. The aroma sensor is able to assess the intensity of three negative attributes: rancid, winey and yeast.

On the other hand, nowadays the only quality measured parameters of the grape are the sugar content and total acidity. However analytical quality parameters that might have a strong impact in the wine quality are not measured since there are not fast cheap procedures to obtain this information. For this reason, there is a strong interest in the development of new technologies capable to assess the quality of grape juice. The developed aroma sensor means the possibility of a new sensor capable of assessing grape juice quality. Its integration in the productive process of cellars is viable because of the low economic cost of gas sensors and the fast response velocity of aroma sensor compared to other methods.

The Centro de Agroingeniería of IVIA has developed two reproducible measurement procedures to assess the quality of two agro-food products. It is an achievement that only a few researchers around the world have attained.

INTRODUCCIÓN

Los controles de calidad de muchos productos agroalimentarios suponen la aplicación de tecnologías complejas y con costes económicos elevados. Así, la mayor parte de los análisis químicos se basan en técnicas cromatográficas que, si bien son exhaustivas y muy precisas, además suponen un gran consumo de tiempo. En el mismo sentido, la evaluación organoléptica se realiza a través de paneles sensoriales cuya formación y mantenimiento supone además un gran esfuerzo logístico. De esta forma, se produce en muchos sectores agroalimentarios una carencia o apenas existencia de controles de calidad a lo largo de su cadena de producción. Se hace necesaria la aparición de nuevas técnicas más rápidas y baratas que, si bien nunca van a sustituir los métodos tradicionales, sí pueden ser complementarias y clasificar los productos en categorías de calidad bien definidas.

Los sensores de aromas se presentan como una alternativa interesante y válida. Su coste económico es inferior hasta un orden de magnitud respecto a los métodos tradicionales y sus tiempos de respuesta están del orden de minutos y no horas como las otras técnicas. Están formados por sensores de gas diseñados para reaccionar frente a determinadas familias de componentes volátiles y en su fabricación se pretende que su respuesta sea proporcional a la concentración de los volátiles detectados. Un *sensor de aromas* es, pues, un conjunto de sensores de gas, cuya respuesta global, constituida por las reacciones individuales de cada sensor, está relacionada con las concentraciones de los componentes volátiles que conforman determinadas propiedades del aroma caracterizado. La respuesta del sensor se analiza con herramientas estadísticas específicas y, mediante un algoritmo de decisión, se genera una evaluación de la propiedad o propiedades del aroma que se está caracterizando.

Así pues, la caracterización de aromas puede enfocarse desde un nuevo punto de vista: dado que cada sensor de gas responde a diferentes tipos de moléculas, se intentan combinar varios sensores para obtener diferentes patrones de respuesta que caracterizan un aroma.

Desde los primeros sensores de gas aparecidos en los años 70 y diseñados exclusivamente para la detección de gases inflamables, sus campos de aplicación se han ido extendiendo paulatinamente, lo que ha provocado la aparición de sensores de gas basados en

diversas tecnologías. Actualmente, los sensores de gas basados en semiconductores de óxidos metálicos (sensores MOS) son los que han experimentado mayor expansión debido a que fueron los primeros en surgir y que han sido muy estudiados. Su principio de operación se basa en la variación de la resistencia eléctrica de los sensores ante la presencia de compuestos reductores en el aroma (Skafidas *et al.*, 1994). Los sensores MOS presentan una serie de ventajas respecto a otras tecnologías existentes en el mercado:

- **Son muy estables**, a diferencia de otro tipo de sensores, como los basados en *microbalanza de cuarzo* (sensores QMB) o los basados en *ondas de superficie acústica* (sensores SAW), cuyas respuestas son muy dependientes del flujo del gas de arrastre de los volátiles (Hilbert *et al.*, 1994).
- **Dependencia reducida frente a Temperatura y Humedad Relativa** en contraposición a otras tecnologías como las basadas en *Polímeros Conductores* (Sensores CP), sensores QMB o sensores SAW (Vlachos *et al.*, 1995).
- **Vida media de un año** en vez de seis meses, como es el caso del resto de tecnologías.

El Centro de AgroIngeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (I.V.I.A.) ha trabajado durante los últimos siete años en el desarrollo de un sensor de aromas basado en sensores de gas MOS que ha sido patentado (solicitud número 200202051). El sensor de aromas ha demostrado ser fiable (repetible y reproducible) a través del desarrollo de un procedimiento de medida totalmente automatizado (Gutierrez, 2002).

Este artículo pretende demostrar la capacidad del sensor de aromas para adaptarse a dos productos agroalimentarios de naturaleza y problemática muy diferentes.

Aceite de Oliva

El sabor del aceite de oliva virgen está directamente relacionado con la composición en sustancias volátiles que se encuentran en el aceite (Aparicio *et al.*, 1997) y que permiten establecer distintos atributos sensoriales positivos y negativos. Según la intensidad (de 0 a 10) encontrada para cada uno de los atributos, el aceite recibirá una puntuación organoléptica según un baremo establecido por el Consejo Oleico Internacional (COI) (Alba *et al.*, 1984).

Actualmente, el control de calidad para el aceite de oliva se realiza, bien mediante paneles sensoriales, bien mediante análisis químico. El coste económico es bastante elevado para los dos casos. Además, la emisión de resultados puede requerir varios días. Los sensores de aroma pueden resolver, parcialmente, este problema.

El sensor de aromas desarrollado debe ser capaz de proporcionar información relevante sobre la calidad del aceite de oliva extra virgen a través de la detección de diferentes niveles de intensidad de tres atributos sensoriales negativos (rancio, avinado y atrojado). Sus resultados serán confrontados por los obtenidos por un panel sensorial entrenado.

Mosto destinado a Vinificación

Actualmente, apenas existen controles de calidad de las uvas destinadas a vinificación en las bodegas a pesar de la gran influencia que representa su estado en la calidad final del vino. Una forma eficaz de paliar esta carencia es introducir sensores electrónicos en la cadena de control de calidad durante la elaboración del vino, con el objeto de evaluar parámetros químicos tales como azúcares, etanol, ácidos glucónico, tartárico y málico, etc.

Trabajos anteriores han demostrado (Sayago *et al.*, 1999) que es posible utilizar sensores de aromas basados en sensores de óxido de estaño para discriminar entre mosto de uva y vino blanco fermentado de la variedad Albillo.

El sensor de aromas desarrollado debe ser capaz de determinar de forma rápida el estado de degradación del mosto que está directamente relacionado con el contenido en ácido glucónico procedente de la acción de hongos (*Botrytis cinerea*) sobre la uva en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sensor de aromas

Los experimentos se realizaron con el sensor de aromas desarrollado por el I.V.I.A. Este dispositivo está compuesto por catorce sensores tipo MOS, más un sensor de temperatura y un sensor de humedad. Estos sensores se encuentran distribuidos de forma circular en una cámara ortoédrica de medidas 7x7x5 cm. La cámara cuenta con una entrada y una salida para gases, y una abertura donde se acopla el frasco de vidrio que contiene la muestra a analizar (Figura 1). Se utiliza aire sintético para transportar los compuestos volátiles a los sensores y para realizar la limpieza de la cámara. Los datos fueron adquiridos con una frecuencia de 4 Hz a través de una tarjeta de adquisición de datos y registrados en un ordenador.

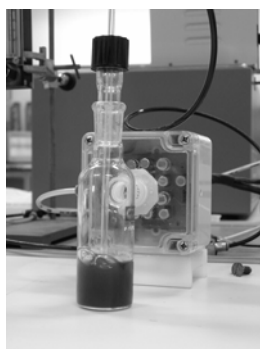


Figura 1. Fotografía del sensor de aromas.

Procedimiento de medida

El proceso de medida comienza separando dos alícuotas de muestra en dos frascos de vidrio de 20 ml, que se dejan a temperatura ambiente (22-24 °C) durante una hora. Tras el atemperamiento, el frasco se acopla a la cámara de sensores y se da comienzo al proceso automático de adquisición de la señal.

Cada alícuota se mide dos veces, obteniendo cuatro observaciones de cada muestra (Figura 2).



Figura 2. Procedimiento de medida.

Dado que tanto la naturaleza como la concentración de volátiles emitidos por el aceite de oliva y el mosto son muy diferentes, se desarrollaron sendos procesos de medida que aseguraban la reproducibilidad del sensor de aromas.

Aceite de oliva

Se establecieron tres fases:

- 10 minutos de estabilización de los sensores de gases mediante la circulación de aire sintético a través de la cámara de sensores,
- 4 minutos de reacción frente al aroma contenido en el espacio de cabeza
- 4 minutos de reacción frente al aroma liberado al hacer burbujear la muestra de aceite mediante aire sintético.

Mosto destinado a vinificación

Constaba de cuatro fases:

- Medida de la línea base por todos los sensores: 5 s.
- Burbujeo de la muestra con aire sintético: 120 s.
- Limpieza de la cámara con aire sintético: 150 s.
- Recuperación de la línea base en ausencia de aire: 300 s.

Ensayos realizados

Aceite de oliva. Se prepararon una serie de ensayos con el objetivo de evaluar la capacidad de detección del sensor de aromas ante tres atributos negativos del aceite de oliva, rancio, avinado y atrojado, para dos aceites monovarietales extravirgenes, picual y arbequina, que llamaremos a partir de ahora aceites base. Asimismo, se estudió la reproducibilidad y repetibilidad de la respuesta del sensor. Para ello, se prepararon las siguientes mezclas que sirvieron, además, de medidas de referencia:

- Para la simulación del atributo avinado, se prepararon muestras de aceite con concentraciones crecientes de ácido acético: 15, 30, 60, 90, 120 y 200 mg/l de ácido acético.
- Los aceites rancios se generaron por exposición de los aceites base a una luz ultravioleta. Se prepararon 7 muestras de cada variedad: una sin exposición a la luz, y el resto con un tiempo de exposición de 1, 2, 3, 5, 8 y 12 días respectivamente.
- Respecto al atrojado, se prepararon muestras con una concentración en volumen del 3%, 6% y 35% de patrón atrojado de intensidad 6.9.

Mosto destinado a vinificación. Se elaboraron 103 muestras de mosto de 60 ml cada una, obtenidas de dos variedades de uva, Tempranillo y Bobal. La preparación de las muestras se realizó en la Estación de Enología y Viticultura de la Generalitat Valenciana. De cada muestra se registraron parámetros de vendimia como la variedad, el origen, fecha de vendimia, sistema de conducción, nivel de poda y el peso de 100 bayas. Las muestras fueron congeladas inmediatamente después de la vendimia para mantener la estabilidad del mosto, ya que se trata de un producto que evoluciona rápidamente. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Agroalimentario de Burjassot usando métodos químicos convencionales (OJEC, 1990) para conocer diferentes parámetros relacionados con el estado de maduración de la uva, como son el azúcar ($^{\circ}$ Brix), la concentración de glucosa y fructosa, de los ácidos acético, málico, láctico, tartárico y glucónico, y el contenido en polifenoles, glicerina, antocianos y catequinas. También se midieron el pH, la acidez total, la intensidad colorante, el grado de alcohol probable y parámetros de color (L, a, b, c y h) del mosto.

Análisis de la señal del sensor de aromas

Aceite de oliva. La reacción del sensor de aromas ante una muestra de aceite consta de dos fases tal como se ha descrito en el procedimiento de medida. De esta forma, la señal de cada uno de los 8 sensores de gas considerados se ha ajustado a dos ecuaciones matemáticas que describen sendas curvas asintóticas. Los parámetros que definen cada función quedan reflejados en la Figura 3. Se obtienen, por tanto, 40 parámetros para cada muestra de aceite (5 parámetros x 8 sensores) que se relacionan con las medidas de referencia proporcionadas por el panel sensorial (Intensidades de rancio (I-ranc), avinado (I-winey) y atrojado (I-yeast)) y el diseño experimental (tiempo de rancidez (t-ranc), concentración de ácido acético (C-win) concentración de patrón atrojado (C-yeast)) mediante un análisis multivariante por técnicas de mínimos cuadrados parciales (PLS) mediante el programa SIMCA-P (Umetrics).

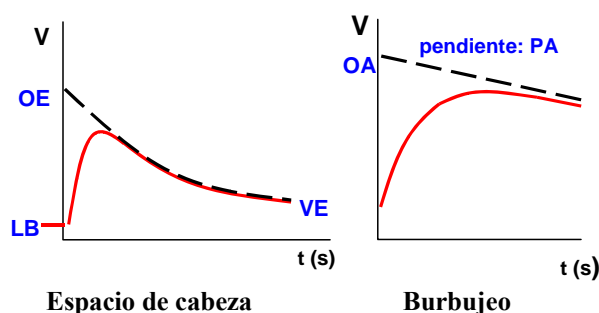


Figura 3. Reacción del sensor de aromas y curvas de ajuste.

Mosto destinado a vinificación. Durante la fase de reacción, la señal de todos los sensores tiende a estabilizarse (Figura 4), de forma que podemos definir el *valor de equilibrio* para cada sensor como el máximo valor absoluto de la señal durante la fase de burbujeo de la medida. De cada muestra, se extrajeron cuatro observaciones (2 repeticiones x 2 alícuotas). Teniendo en cuenta que un sensor fue descartado al estropearse durante el transcurso de los ensayos, para crear la matriz de datos se calcularon los valores de equilibrio de los otros 13 sensores, añadiendo las variables analíticas y las variables de campo (que eran las mismas para las 4 observaciones de cada muestra). Finalmente, se construyó una matriz con estructura bidireccional para facilitar el análisis estadístico. De este modo, obtuvimos una matriz con 412 observaciones (filas) y 84 variables (columnas). Con el fin de estudiar la estructura de correlación de los parámetros obtenidos de las señales de los sensores de gases y los parámetros químicos, se realizó un PCA (Análisis de Componentes Principales) y un PLS (Partial Least Squares Regression) mediante el programa SIMCA-P (Umetrics).

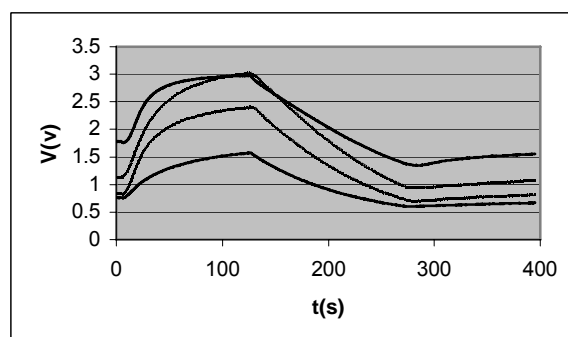


Figura 4. Respuesta de cuatro sensores de gas a una muestra de mosto.

Metodología del panel sensorial

Las muestras de aceite fueron evaluadas por un panel sensorial a lo largo de 13 sesiones en las que se realizaron dos repeticiones por muestra en diferentes días. Se requería un mínimo de ocho panelistas para que la sesión fuera válida. Las muestras fueron evaluadas en orden aleatorio. El panel evaluaba de cada muestra diferentes atributos sensoriales tanto positivos (frutado, picante, amargo) como negativos (rancio, avinado, atrojado etc.) otorgando para cada una de ellos una puntuación de 0 a 10 según la intensidad percibida tal como se describe en el método IOOC/T.20/Doc.nº15/Rev.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aceite de oliva

Los coeficientes de variación máximos encontrados para cada sensor de gas oscilan entre 0.02 y 0.12 por lo que se considera que las señales son suficientemente repetibles y reproducibles.

El análisis PLS realizado pone de manifiesto que se obtienen dos componentes significativas con un buen coeficiente de ajuste ($R^2_Y=0.56$, $R^2_X=0.66$) y buena capacidad de predicción ($Q^2=0.48$). La Figura 5 muestra la contribución (pesos w^*c) de los distintos parámetros en la formación de los dos componentes principales. Las seis variables respuesta se han proyectado sobre el gráfico. El código indica el parámetro (PA, OA, M, PE, VE y OE) y el número corresponde al sensor de gas.

Observando la gráfica podemos deducir la estructura de correlación de los parámetros: PA, OA y OE están cercanos al eje horizontal con pesos elevados en la primera componente mientras que VE y PE están próximos al eje vertical con pesos altos en la segunda componente. Así, la primera componente está correlacionada con los parámetros de la fase 2 del proceso de medida mientras que la segunda lo está respecto a la fase 1. Queda claro que cada fase proporciona información independiente.

La proyección de las variables respuesta pone de manifiesto que la intensidad de avinado se relaciona con la segunda componente mientras que la del rancio está correlacionada con la primera. Los parámetros PA y OA del sensor SB-15 son los que mejor discriminan el atributo atrojado.

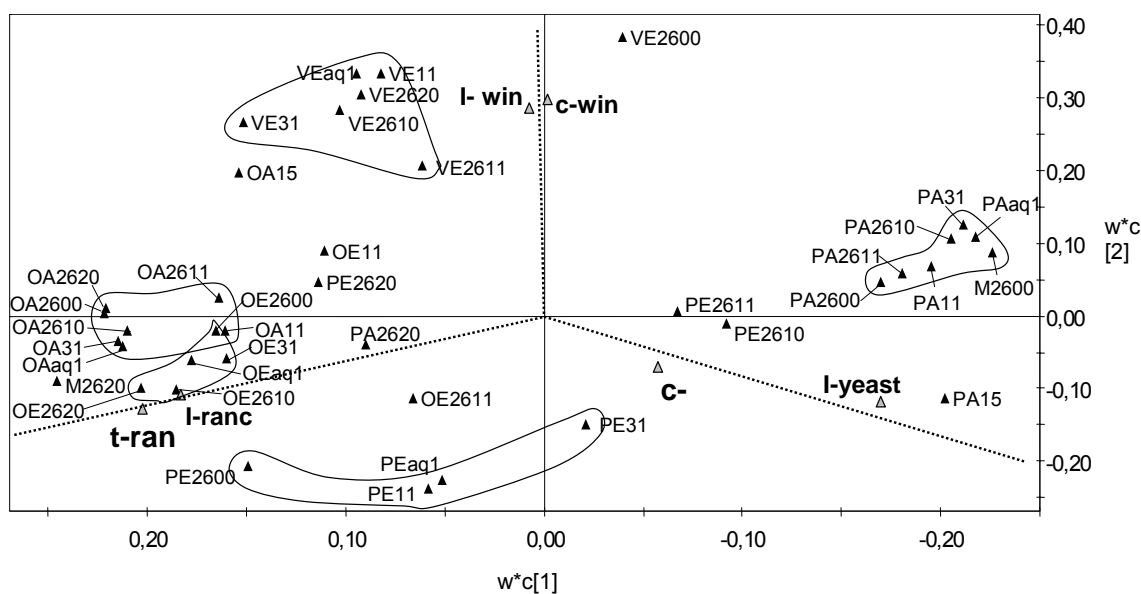


Figura 5. Pesos de las variables en las dos primeras componentes principales del modelo PLS. Los códigos se describen en el texto

Con el fin de analizar la capacidad de predicción del modelo PLS calculado cuando se combinan dos atributos negativos sobre la misma muestra, se muestra en la Figura 6 los resultados obtenidos por el panel sensorial y el modelo PLS para seis muestras de aceite. El atributo rancio es el mejor predicho por el modelo, seguido por el avinado. El panel estima valores más altos del atributo atrojado respecto al modelo, posiblemente debido a que no ha habido suficientes muestras para conseguir una calibración adecuada.

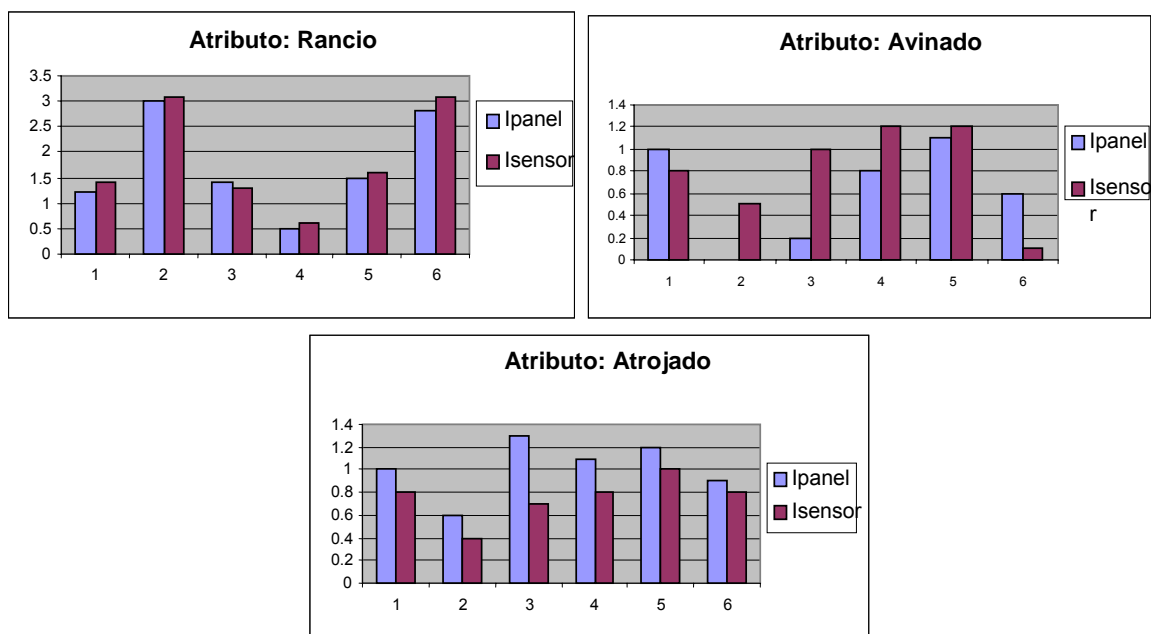


Figura 6. Respuestas del panel sensorial y del sensor de aromas frente a 6 muestras de aceite

Mosto destinado a vinificación

En primer lugar, se realizó un PCA con el valor de equilibrio de los 13 sensores de gases. Si analizamos los pesos de las variables en la formación de las dos primeras componentes principales (1ª PC: $r^2_X = 0.74$; 2ª PC: $r^2_X = 0.13$), los sensores se separan en dos grupos: 10 sensores de gases con pesos altos en la primera componente, y los otros 3 con pesos altos en la segunda componente. Se observa un conjunto de 4 muestras con un valor anormalmente alto en su proyección sobre las dos primeras componentes principales (Figura 7). Tras analizar las características de estas muestras, averiguamos que en todas ellas se había iniciado de forma espontánea la fermentación alcohólica y que, en consecuencia, se había producido dióxido de carbono (CO_2). De ello, puede deducirse que los sensores de gases reaccionan ante la presencia de CO_2 .

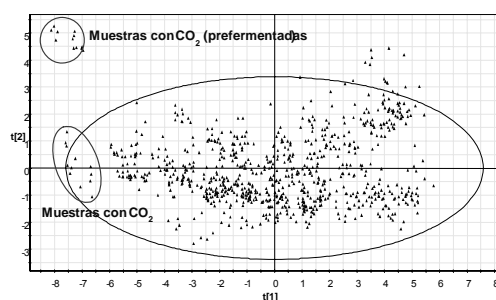


Figura 7. Proyección de las muestras sobre las dos primeras componentes principales (PC) del modelo PCA obtenido con los valores de equilibrio de los sensores mos.

La proyección de las observaciones sobre la 2ª y la 3ª componentes principales refleja 4 muestras de mosto con características diferentes de las restantes (figura 8). Tras analizar las características de estas muestras averiguamos que contenían dióxido de azufre (SO_2) añadido por error durante su preparación. Este hecho indica que el sensor de aromas distingue este compuesto (figura 9).

incorporando el efecto cuadrático (el cuadrado del logaritmo del contenido de ácido glucónico), se obtiene un coeficiente de correlación $R^2=0.82$. Si se eliminan dos muestras que presentaban valores anormalmente altos en el diagrama de residuos del modelo, se logra un coeficiente de determinación (R^2) de 0.875.

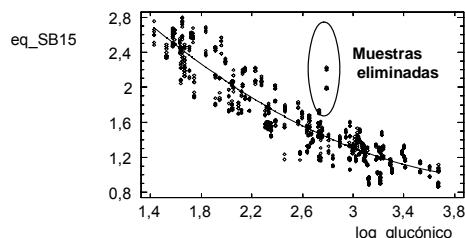


Figura 11. Regresión entre el valor de equilibrio del sensor SB-15 y el logaritmo del contenido en ácido glucónico.

Los resultados obtenidos permiten asegurar que el sensor de aromas es capaz de discriminar las muestras de mosto según su estado de degradación ya que el contenido en ácido glucónico es un buen indicador del estado sanitario de la uva.

CONCLUSIONES

El Centro de AgroIngeniería del IVIA ha desarrollado un sensor de aromas basado en sensores de gas MOS para la evaluación de la calidad de productos agroalimentarios. El sensor ha demostrado su versatilidad al ser capaz de adaptarse a dos productos de naturaleza tan diferente como son el aceite de oliva y el mosto destinado a vinificación.

En el caso del aceite de oliva, el sensor de aromas puede convertirse en una herramienta complementaria a los paneles de catadores al ser capaz de detectar y estimar los atributos negativos más importantes que degradan el aceite de oliva como son el rancio, avinado y atrojado. Las respuestas del sensor de aromas frente a estos atributos son comparables a los emitidos por un panel sensorial entrenado.

En el caso del mosto destinado a vinificación, el sensor de aromas supone la posibilidad de incorporar un nuevo sensor a la evaluación de la calidad del mosto ya que es capaz de predecir de forma rápida el contenido en ácido glucónico procedente de la acción de hongos (*Botrytis cinerea*) sobre la uva en el campo. El bajo coste de los sensores que lo componen y la rápida velocidad de respuesta del sensor de aromas si lo comparamos con otros métodos, permiten hacer pensar en su viabilidad para integrarlo en el proceso productivo de las bodegas.

Los resultados obtenidos con el sensor de aromas permiten asegurar que el Centro de AgroIngeniería del IVIA ha desarrollado dos métodos de medida reproducibles, lo que representa un logro que pocos grupos de investigación a nivel mundial han conseguido.

AGRADECIMENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el INIA y el Ministerio de Educación y Ciencia a través de los proyectos con títulos *Desarrollo de sensores para la evaluación de la calidad del aceite de oliva* (referencia CA098-012-C3) y *Desarrollo de sensores electrónicos para la caracterización y evaluación de la calidad de la uva para vinificación* (referencia AGL2002-04450-C02-01), respectivamente

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio R.; Morales M.;Alonso V. 1997. Authentication of european virgin olive oils by their chemical compounds, sensory attributes, and consumers' attitudes. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1076-1083
- Alba, J.;Izquierdo, JR; Gutierrez, F. 1984. Aceite de oliva virgen, análisis: la cata de aceite de oliva virgen. *Agrícola Española*. Madrid. ISBN: 84-854-4139-7
- Gutierrez, A., 2002. Evaluación de la calidad del aceite de oliva mediante dispositivos electrónicos basados en sensores de aromas y sensores ópticos, Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia (UPV) ISBN: 84-699-9957-5
- Hilbert, B.; Hoummady, M.; Henrioud, J.M.; Hauden, D., 1994. Feasability of SAW sensor array processing with formal neural-networks. *Sensors and Actuators B*, 18-19:645 - 648
- OJEC (Official Journal Of The European Communities), 1990. Commission Regulation (EEC) n° 2676/90 of 17 September 1990 determining Community methods for the analysis of wines. *OJ* n° L 272, 03/10/1990
- Sayago, I.; Horrillo, M.C.; Getino, J.; Gutierrez, J.; Arés, L.; Robla, J.I.; Fernández, M.J.; Rodrigo, J., 1999. Discrimination of grape juice and fermented wine using a tin oxide multisensor. *Sensors and Actuators B* 57: 249-254.
- Skafidas, P.D.; Vlachos, D.S.; Avaritsiotis, J.N., 1994. Modelling and simulation of tin oxide based thick-fil gas sensors using Monte Carlo techniques. *Sensors and Actuators B*, 18-19: 724-728.
- Vlachos, D.S.; Skafidas, P.D.; Avaritsiotis, J.N., 1995. The effect of humidity on tin-oxide thick-film gas sensors in the presence of reducing and combustible gases. *Sensors and Actuators B* 24-25: 491-494.