



MENSURA DIGITALIZADA DE LA EVOLUCIÓN DEL COLOR EN ACEITUNAS SEGÚN EL GRADO DE MADUREZ DEL FRUTO ¹

DIGITAL MEASUREMENT OF COLOR EVOLUTION IN OLIVES ACCORDING TO FRUIT MATURITY DEGREE

Claudia V. Lúquez Bibiloni ²
José Miguel Aguilera Radic ³

Originales
Recepción: 07/07/2005
Aceptación: 29/08/2005

RESUMEN

Se desarrolló un nuevo método para la valoración objetiva del color en las aceitunas, mediante el análisis de la intensidad de la reflexión de los colores primarios (rojo, verde y azul) que componen la luz blanca. Se trabajó con programas informáticos para el análisis de imágenes digitales color tipo BMP de 24 bits.

Este método es rápido, objetivo, no destructivo y puede ser muy útil cuando se requiere una técnica eficiente para determinar el grado de madurez de las aceitunas o de otros alimentos.

Palabras clave

aceitunas • color • medición objetiva
• grado de madurez • análisis de imagen digital

ABSTRACT

A new method for objective valuation of colour in olives, by means of analysis of reflection intensity of the primary colours (red, green and blue), which compose the white light, was developed. Computer software's for analysis of digital 24 bits BMP colour type images was utilized.

This method is rapid, objective, non-destructive and it could be useful where an efficient test for determine maturity degree of olives or other foods is needed.

Key words

olives • colour • objective measurement • ripeness degree • digital image analysis

INTRODUCCIÓN

El color de un alimento es un factor determinante en el momento de la evaluación de su calidad y de su aceptación por parte del consumidor. Esta apreciación es altamente subjetiva, por lo que resulta muy difícil para el industrial efectuar una valoración objetiva a fin de obtener un producto homogéneo y de características constantes en el tiempo.

- 1 Extracto de la parte I de la tesis doctoral: *El color en las aceitunas de mesa. Nueva técnica de mensura digitalizada de las variables cromáticas para optimizar el método de oscurecimiento natural*, realizada en la Facultad de Enología y de Industria Frutihortícola «Don Bosco», Universidad «Juan A. Maza». Mendoza. Argentina.
2. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. ccea@fca.uncu.edu.ar
3. Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de Guelph, Ontario, Canadá.

El color es una propiedad de la materia relacionada con las longitudes de onda incidentes sobre un objeto y las reflejadas por él. La luz visible representa una pequeña porción del espectro electromagnético y corresponde al rango de frecuencias cuya longitud de onda oscila entre 3.8×10^{-7} m y 7.8×10^{-7} m (380 a 780 nm). Cuando la luz incide sobre un objeto, éste puede absorber una parte y reflejar el resto, así como también puede absorber o reflejar la totalidad de la luz que recibe.

Según la teoría tricromática de la percepción, el ojo humano percibe fundamentalmente tres estímulos primarios principales, que son luces monocromáticas con valores de longitud de onda:

rojo	(red)	$\lambda = 700.0$ nm)
verde	(green)	$\lambda = 546.1$ nm)
azul	(blue)	$\lambda = 435.8$ nm)

Los colores aditivos primarios del sistema RGB (rojo, verde, azul) pueden combinarse para originar cualquier otro color del espectro. El ojo no funciona como una máquina de análisis espectral y estímulos físicos diferentes pueden provocar una misma respuesta, causando la misma sensación de color. Si se mezclan luces de color rojo y verde, el ojo las percibirá como luz amarilla, aunque esa mezcla no posea ondas electromagnéticas pertenecientes a las de la gama del espectro que corresponden al color amarillo.

Si se consideran los cambios en el color de un mismo fruto, debido a los diferentes grados de madurez, los espectros de reflexión variarán por la presencia de pigmentos en los cloroplastos en los frutos verdes o de colorantes antocianicos en las vacuolas de sus células en los frutos maduros, que absorben diferentes longitudes de onda. Cuando se trata de alimentos sólidos, para poder evaluar su color se trata de reducirlos a una superficie plana, mate, de pigmentación homogénea.

En el caso de las aceitunas, ya se trate de frutos frescos o elaborados, para poder medir el color se debe eliminar el carozo, a fin de reducir la superficie de la piel a un plano. Se trata pues de un método destructivo, ya que el fruto debe ser descartado luego de la medición. Además presenta la dificultad de tener que manipular los frutos en forma individual (5, 7, 8, 17). Si se procede a valorar la evolución del color de las aceitunas para determinar su período óptimo de cosecha o para ajustar las variables del proceso de elaboración, se requiere un método que permita medir el color de gran cantidad de frutos, de ser posible sin afectar su integridad y en forma totalmente objetiva.

El sistema aditivo RGB permite desglosar la información contenida en una imagen digital, en tres canales independientes, que representan los tres colores primarios, cuya adición es el color reflejado por un objeto. La intensidad de luz reflejada se convierte en valores numéricos, en una escala de 0 (reflexión nula) a 255 (reflexión máxima). Este nuevo método de mensura es no destructivo y evalúa de modo cuantitativo la evolución del color en las aceitunas cuando avanza el grado de madurez.

Objetivo

- Cuantificar y expresar los diferentes grados de madurez del fruto a través de índices numéricos basados en el análisis de gran número de frutos, con el fin de determinar el grado de madurez y el período óptimo de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las aceitunas correspondieron a la variedad Arauco, provenientes de un olivar ubicado en la localidad de Cruz de Piedra, Maipú, Mendoza, Argentina. Pertenecieron a las cosechas 2000, 2001 y 2002. Fueron recolectadas manualmente de treinta olivos, en forma aleatoria, a lo largo del perímetro exterior de cada planta y a la altura de la visual del operario, con intervalos regulares de quince días durante marzo, abril, mayo y junio.

Se eligieron frutos totalmente sanos y se clasificaron según cuatro grados de madurez: verdes, pintas, rojas y negras. En el caso de las aceitunas maduras, los frutos se cosecharon cuando habían alcanzado un color morado a negro intenso y se verificó, mediante un pequeño corte en forma de cuña, la penetración del color en la pulpa hasta los 2 mm del hueso.

Las aceitunas se trasladaron inmediatamente al laboratorio. Cada muestra constaba aproximadamente de cuarenta y cinco aceitunas, que se colocaron en un recipiente de 24 x 18 cm de base, cuyo interior se recubrió con una lámina negra opaca para eliminar reflejos.

Se utilizó una cámara digital Olympus (el reflejo de la luz del flash incidente a 90° sobre una superficie negro puro equivalió a 255 para los tres colores del sistema RGB, cuya suma da blanco puro). La cámara se ubicó a una distancia de 20 cm, desde la lente a las aceitunas.

Análisis de la imagen digital

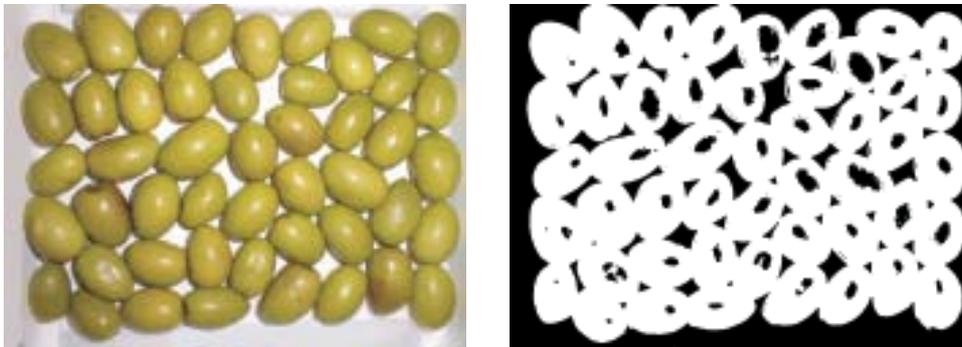
Se utilizó el programa de análisis de imagen digital Kontrom Elektronik GmbH 1996 (Alemania). La imagen del objeto fue convertida en una matriz bidimensional de números (256 x 256), en la cual a cada punto de la imagen digital o píxel correspondió un valor directamente proporcional a la intensidad de reflexión de esa locación en plano del objeto, la que se evaluó en una escala de 256 valores de intensidad (0 a 255).

La imagen capturada fue BMP de 24 bits, de forma rectangular, con 1024 x 768 píxeles, lo que dio un valor de 786432 píxeles evaluados. Debido a que la imagen se fragmentó y se consideraron los valores de intensidad de reflexión de gris de 0 a 150, el número de píxeles se redujo aproximadamente a 600000 píxeles evaluados en cada imagen analizada.

Segmentación de la imagen

Debido a la forma convexa de las aceitunas, la incidencia de la luz sobre las mismas provocó reflejos y varió su intensidad según la inclinación con que los rayos de luz llegaron a la superficie del fruto. Una pequeña parte de la luz fue reflejada y apareció en la imagen digital como una mancha blanca en la parte superior del fruto.

Estas manchas cayeron en el límite derecho del espectro reflejado (color blanco puro) y se encontraron en el rango entre 200 y 255 de intensidad de reflexión del color. Se seleccionó el rango de intensidad luminosa de 0 a 150 porque abarcó totalmente la superficie dentro de la cual estaban las aceitunas objeto del estudio y se eliminaron los reflejos indeseables que podrían alterar los resultados.



Índice de Intensidad de Reflexión (IIR)

Dicho índice representa la intensidad de reflexión de cada color en la imagen digitalizada, considerando el número total de píxeles en el rango segmentado 0-150 (o superficie total analizada) equivalente a la unidad.

La fórmula para calcular el Índice de Intensidad de Reflexión es la siguiente:

$$IIR = \sum_{j=1}^{0-150} [\text{valor de intensidad de reflexión}_{(j)} \cdot \text{área relativa}_{(j)}]$$

RESULTADOS

Aceitunas frescas	Índice		
	Rojo	Verde	Azul
Verdes	122.171598	119.165349	50.739425
Pintas	104.757892	83.7260441	72.6968058
Rojas	86.1069545	63.1915708	66.1684882
Negras	71.8004799	58.8734407	63.4569559

Mensura digitalizada de la evolución del color en aceitunas

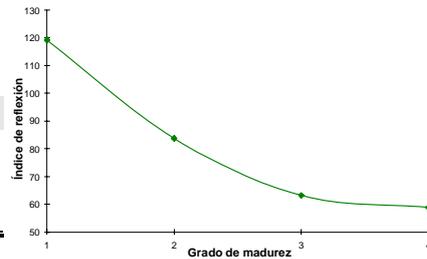
Evolución del color rojo

Madurez	Verde	Pinta	Roja	Negra
Estado	1	2	3	4
Índice	122.171598	104.757892	86.1069545	71.8004799
Correlación	-0.99862481			



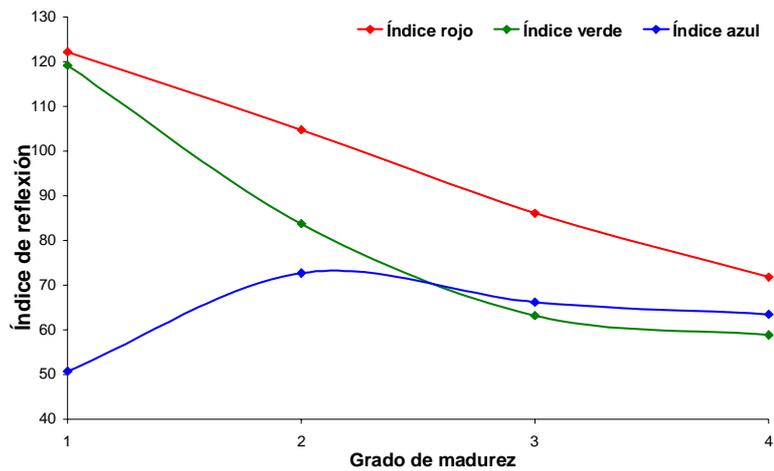
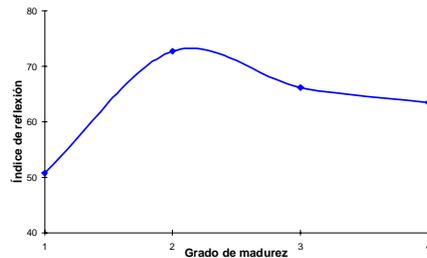
Evolución del color verde

Madurez	Verde	Pinta	Roja	Negra
Estado	1	2	3	4
Índice	119.165349	83.7260441	63.1915708	58.8734407
Correlación	-0.94515638			



Evolución del color azul

Madurez	Verde	Pinta	Roja	Negra
Estado	1	2	3	4
Índice	50.739425	72.6968058	66.1684882	63.4569559
Correlación	0.44342346			



Evolución de los colores según el grado de madurez

DISCUSIÓN

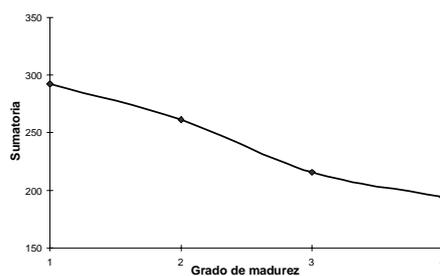
La evolución del índice de reflexión del **color rojo** guardó una elevada correlación con el momento de aparición de los pigmentos antociánicos, que avanzaron en la superficie del fruto y ocuparon la región epidérmica en un primer momento hasta aparecer en las capas sub-epidérmicas y en el mesófilo del fruto. Se intensificó el color superficial y el fruto se oscureció. El índice de reflexión para el color rojo pasó de un valor de IIR = 122 en el estado de aceituna verde a un IIR = 72 en el estado de aceituna negra, disminuyendo a un 59 % del valor inicial.

Durante el proceso de maduración, el índice de reflexión para el **color verde** descendió hasta la mitad de su valor, pasando de IIR = 119 en el estado de fruto verde a un IIR = 59 en la aceituna madura, reduciéndose a un 49 % del valor inicial. Esta disminución del color verde reflejó claramente la destrucción de las clorofilas en las células del mesófilo de las aceitunas y mostró una elevada correlación en el lapso que va del color verde al rojo violáceo intenso. Cuando la clorofila comienza a desaparecer, las membranas de los cloroplastos se rompen y se produce la liberación de las enzimas contenidas en éstos, simultáneamente con la aparición de las antocianinas (3).

La evolución del índice de reflexión del **color azul** presentó su máximo en el estado de aceitunas pintas, luego descendió a medida que se acercaron al estado de completa madurez.

De los tres índices analizados, **el índice de reflexión para el color verde** exhibió la pendiente más acentuada, con una disminución del valor del IIR del 50 % entre los estados de aceituna verde y madura, comenzando a estabilizarse alrededor del valor IIR = 60.

Sumatoria de los índices de reflexión



Color	Verde 1	Pinta 2	Roja 3	Negra 4
Índice rojo	122.171598	104.757892	86.1069545	71.8004799
Índice verde	119.165349	83.7260441	63.1915708	58.8734407
Índice azul	50.739425	72.6968058	66.1684882	63.4569559
Sumatoria	292.076372	261.180742	215.467014	194.130877

CONCLUSIONES

- ❖ Para determinar el momento apropiado de cosecha de la aceituna, se debe tener en cuenta que un IIR (color verde) mayor de 60 indica un oscurecimiento a nivel superficial, sin interesar la pulpa del fruto, mientras que un valor de IIR (color verde) menor de 60 indica que el grado de madurez ha avanzado a niveles subepidérmicos, interesando la pulpa de la aceituna.
- ❖ Si se hace la sumatoria de los índices de reflexión para los tres colores del sistema RGB, para cada grado de madurez, se obtiene que el estado de aceituna color negro violáceo intenso presenta un valor total menor de IIR sumatoria = 200.

El índice de reflexión del color verde es una medida muy apropiada para evaluar el grado de madurez de la aceituna y permite discriminar por intervalos numéricos la madurez de la pulpa respecto de la superficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, J. M.; K. Oppermann and F. Sánchez. 1987. Kinetics of browning of Sultana grapes. *Journal of Food Science* 52 (4): 990-1025.
2. Bate-Smith, E. C. 1954. Flavonoid compounds in foods. *Advances in Food Research* V: 261-300.
3. Ben-Shalom, N.; V. Kahn; E. Harel and A. Mayer. 1977. Olive catechol oxidase. Changes during fruit development. *J. Sci. Food Agric.* 28: 545-550.
4. Commission Internationale de L'Éclairage (CIE) 2002. <http://www.physics.sfasu.edu/astro/color/chromaticit.html>.
5. de Castro Ramos, R. y R. Vázquez Ladrón. 1976. Variación del color de las aceitunas según el proceso de fermentación. I. Variedad Verdial. *Grasas y Aceites* 27 (3): 151-159.
6. Department of Gen_ and Comp_ Physiology, Vienna_archivos\color.htm. *Color science espectro.htm*.
7. Fernández Díez, M. J. y A. Garrido Fernández. 1971. Aceitunas negras por oxidación en medio alcalino. I- El color como criterio de madurez y de calidad en el producto elaborado. *Grasas y Aceites* 22 (3): 193-198.
8. Garrido Fernández, A. y M. J. Fernández Díez. 1970. Determinaciones de color en las aceitunas negras maduras estilo griego. *Grasas y Aceites* 21 (2), 141-147.
9. _____. 1972. Aceitunas negras de mesa. Evolución de las principales características del fruto durante el desarrollo y maduración. *Grasas y Aceites* 23 (4): 309-318.
10. Garrido Fernández, A. et al. 1985. *Biología de la aceituna de mesa*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Técnicas, Sevilla, España.
11. _____. 1991. *Elaboración de aceitunas de mesa*. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 81. ONU para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
12. Maestro Durán, R. y A. Vázquez Roncero. 1976. Colorantes antocianicos de las aceitunas Manzanillas maduras. *Grasas y Aceites* 27 (4): 237-243.

13. Mínguez Mosquera, M. I. y J. Garrido Fernández. 1986. Composición y evolución de clorofilas y carotenoides durante el desarrollo y maduración de los frutos del olivo. *Grasas y Aceites* 37 (6): 337-342.
14. _____ . 1987. Diferenciación de las variedades de olivo Hojiblanca y Manzanilla según su contenido pigmentario. *Grasas y Aceites* 38 (1): 4-8.
15. Ribéreau-Gayon, P. 1968. *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod, Paris. Francia. 254 pp.
16. Ryan, D. and K. Robards. 1998. Phenolic compounds in olive fruits. 2nd International Electronic Conference on Synthetic Organic Chemistry (ECSOC-2). www.mdpi.org/ecsoc
17. Sánchez Gómez, A. H.; L. Rejano Navarro y A. Montaña Asquerino. 1985. Determinaciones del color en las aceitunas verdes aderezadas de la variedad Manzanilla. *Grasas y Aceites* 36 (4): 258-261.
18. Simpson, K. L.; C. O. Chichester and R. H. Vaughn. 1961. Compounds responsible for the color of black «ripe» olives. *J. Food Sci.* 26 (3): 227-233.
19. Steinmetz, K. A. and J. D. Potter. 1991. Vegetables, fruits and cancer. I. Epidemiology. In: *Cancer Causes Contr.* 2: 325-357.
20. Unklesbay, K.; N. Unklesbay; J. Keller and J. Grandcolas. 1983. Computerized image analysis of surface browning of Pizza Shells. *Journal of Food Science* 48, 1119-1123.
21. Vázquez Roncero, A. y Maestro Durán, R. 1970. Los colorantes antociánicos de la aceituna madura. I. Estudio cualitativo. *Grasas y Aceites* 21 (4): 208-214.
22. Vázquez Roncero, A.; E. Graciani Constante y R. Maestro Durán. 1974. Componentes fenólicos de la aceituna. I- Polifenoles de la pulpa. *Grasas y Aceites* 25 (5): 269-279.
23. Vázquez Roncero, A.; R. Maestro Durán y E. Graciani Constante. 1971. Cambios en los polifenoles de la aceituna durante la maduración. *Grasas y Aceites* 22 (5): 366-370.
24. Vlahov, G. e M. Solinas. 1988. Studio della composizione quali-quantitativa mediante GLC degli antociani delle olive nere. Loro evoluzione nel corso della maturazione. *Ann. Ist. Sper. Elaiot.*, 1984-87, X, Pescara. Italia.