

El tiempo de exposición de la fresa (*Fragaria ananassa*) al ozono gaseoso influye en la evolución de sus propiedades cromáticas

Macías-Gallardo F., Martínez-Castillo, J.I., Abraham-Juárez M.R., C. Ozuna*

Universidad de Guanajuato, Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Ex Hacienda El Copal k.m. 9, carretera Irapuato-Silao, C.P. 36500; Irapuato, Guanajuato, México.

*cesar.ozuna@ugto.mx

RESUMEN Se evaluó la influencia del tiempo de exposición de ozono gaseoso sobre las propiedades cromáticas de fresas durante 8 días. Lotes de 400 ± 7 g de fruta que fueron almacenadas a 10 ± 0.2 °C en cajas de plástico tipo *clamshell* y posteriormente expuestas a ozono gaseoso (1 ppm) durante 0 h (A0), 2 h (A2), 15 h (A15), 24 h (A24) y tiempo completo de 8 días (A). Se tomaron muestras diariamente y se midieron las coordenadas cromáticas L^* , a^* y b^* de la superficie de la fresa de acuerdo con el sistema CIEL* a^*b^* . Posteriormente, se calculó el croma o intensidad (C^*_{ab}), tono (h^*_{ab}) y el diferencial de color (ΔE). Las cinéticas obtenidas fueron modeladas empleando un modelo de cinética de primer orden y se calcularon las constantes de equilibrio (X_{eq}) y velocidad (k). El modelo matemático ajustó correctamente a las cinéticas ($R^2 > 0.60$). Los tratamientos A0, A2 y A15 no mostraron un efecto significativo ($p < 0.05$) para preservar las propiedades cromáticas de la fresa durante su almacenamiento. Los tratamientos A24 y A permitieron mantener el color y la forma de las fresas durante su almacenamiento. Sin embargo, el tratamiento A afectó la tonalidad amarillo-verdosa de sus sépalos, la cual evolucionó a tonos grisáceos.

Palabras clave: Modelado, luminosidad, intensidad, tono.

ABSTRACT The aim of this research was to evaluate the influence of the exposure time of gaseous ozone on the chromatic properties of strawberries during 8 days of storage. To reach this objective, batches of 400 ± 7 g of fruit were stored at 10 ± 0.2 °C in plastic boxes and then exposed to gaseous ozone (1 ppm) for 0 h (A0), 2 h (A2), 15 h (A15), 24 h (A24) and full time (A). Samples were taken daily and the chromatic coordinates L^* , a^* and b^* of the strawberry surface were measured according to the CIEL* a^*b^* system. Subsequently, the chroma or intensity (C^*_{ab}), the hue angle (h^*_{ab}) and the global color difference (ΔE) were calculated. The obtained experimental kinetics were modeled using a first-order kinetic model and the equilibrium (X_{eq}) and velocity (k) constants were calculated. The mathematical model correctly described the experimental kinetics ($R^2 > 0.60$). Treatments A0, A2 and A15 did not show a significant effect ($p < 0.05$) in preserving the chromatic properties of the strawberry during storage. Treatments A24 and A allowed to maintain the color and shape of the strawberries during storage. However, treatment A affected the yellow-greenish color of the fruit sepals, which evolved to grayish tones.

Key words: Modeling, luminosity, chroma, hue.

Área: Frutas y hortalizas.

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria ananassa*) es una de las bayas que más se han consumido durante los últimos siglos debido a que es una fuente de fibra dietética, vitamina C y compuestos bioactivos (Giampieri *et al.*, 2012). En la actualidad, la fresa es aprovechada y consumida en diferentes maneras: en su forma fresca, en conservas, bebidas y otros productos derivados. Gracias a sus propiedades, hoy en día, es considerada un alimento funcional, lo que ha provocado su alta demanda en el mercado (González *et al.*, 2019). Por otro lado, el sabor, el aroma, la textura, el olor y el color de la fresa son características de gran importancia tecnológica y comercial (Parvez *et al.*, 2018).

El color es una propiedad organoléptica que es percibida por medio de la vista, el cual es considerado un factor psicológico para que un producto alimenticio llegue a ser adquirido, incluso se puede deducir si el alimento llega a estar maduro e idóneo para su consumo (Mathias *et al.*, 2014). En las fresas, el color rojo se atribuye a las antocianinas, las cuales son pigmentos solubles en agua con propiedad antioxidantes (Crecente *et al.*, 2012). Las principales antocianinas encontradas en este fruto son la pelargonidin-3-glucósido y cianidin-3-glucósido, y su contenido depende de la madurez del fruto (Giampieri *et al.*, 2012).

A pesar de las características nutricionales y funcionales que aporta la fresa al ser consumida, una desventaja es que es un fruto muy perecedero. Por tal motivo, la industria alimentaria ha mostrado interés por el uso de tecnologías que ayuden a mantener y/o prolongar la vida de anaquel de dicho fruto, tal es el caso del ozono gaseoso (Aday, *et al.*, 2014). Existen diversas investigaciones que demuestran una disminución del crecimiento microbiológico en frutos ante la exposición de ciertas concentraciones de ozono (Guzel *et al.*, 2004; Onopiuk *et al.*, 2017). Asimismo, se conoce la acción del ozono gaseoso contra el etileno, lo cual provoca un retraso de hasta el 20-30% en la maduración de la fresa (Parzanese, 2013). Por lo tanto, los tratamientos poscosecha con ozono gaseoso a frutas perecederas como las berries es una de las aplicaciones más reconocidas de este compuesto (Crozier *et al.*, 2019).

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la influencia del tiempo de exposición de ozono gaseoso sobre las propiedades cromáticas de fresas (*Fragaria ananassa*) durante su almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima. Las fresas fueron obtenidas de un cultivo de fresa ubicado en la comunidad de Ex Hacienda de Márquez municipio de Irapuato Guanajuato. Los frutos se adquirieron el día de su cosecha y estos fueron trasladados inmediatamente al Laboratorio de Tecnología e Innovación Alimentaria de la Universidad de Guanajuato. Se pesaron lotes de 400 ± 7 g de fresa, se colocaron en contenedores de plástico tipo *clamshell* y se almacenaron en una cámara de refrigeración a 10 ± 0.2 °C.

Ozonificación. Los tratamientos de ozonificación se realizaron a través de una cámara frigorífica (10 ± 0.2 °C) en la cual se instaló un generador de ozono gaseoso provisto por la empresa Ozono Carbab's (León, México). Las fresas fueron expuestas a 1 ppm de ozono gaseoso durante 0 h (A0), 2 h (A2), 15 h (A15), 24 h (A24) y tiempo completo de 8 días (A) durante su almacenamiento.

Color. Las mediciones de color de la parte superficial de la fresa se realizaron utilizando un colorímetro HunterLab (Reston, ColorFlexEZ, EUA). La expresión de los resultados fue de acuerdo con el sistema CIEL*a*b*, los parámetros fueron determinados son L* (luminosidad, L* = 0 [negro] y L* = 100 [blanco]), a* y b* (dimensiones del color oponente, [a* valores negativos= verde y a* valores positivos= rojo], [b* valores negativos= azul y b* valores positivos= amarillo]). Para el cálculo de croma o intensidad (C*_{ab}), ángulo hue o tono (h*_{ab}) y diferencial de color (ΔE) se hizo uso de las Ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente. La evolución de los parámetros cromáticos de la fresa fue expresada en porcentaje.

Ecuación 1:

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Ecuación 2:

$$h^*_{ab} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

Ecuación 3:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

$$\Delta L = L - L_0; \Delta a = a - a_0; \Delta b = b - b_0$$

Donde L_0, a_0, b_0 representan los valores de las coordenadas a^* y b^* de la fresa sin tratamiento ($t=0$ días).

Modelado de las cinéticas. El modelado de las cinéticas de las propiedades cromáticas se realizó empleando un modelo de cinética de primer orden (Ecuación 4) (Ozuna et al., 2014).

Ecuación 4:

$$X = X_e + (X_0 - X_e)e^{-kt}$$

Donde X es el valor del atributo generado por el modelo, X_e representa el valor del atributo en equilibrio, X_0 el valor inicial del atributo, k la constante de velocidad de la reacción (min^{-1}) y t el tiempo de la reacción (días).

Análisis estadístico. Para el análisis estadístico se implementó un ANOVA simple con un análisis *post-hoc* de Tukey empleando el programa estadístico Statgraphics versión 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. I muestra el efecto del tiempo de aplicación de ozono gaseoso sobre las propiedades cromáticas (luminosidad, croma, tono y diferencial del color) de fresa durante 8 días de almacenamiento a 10 ± 0.2 °C. En el caso de la evolución de la luminosidad (L^*) se observó una disminución de este parámetro para todos los tratamientos, a excepción del tratamiento A, el cual consistió en una exposición constante de ozono gaseoso (1 ppm) durante los 8 días de almacenamiento (Fig. IA). En el tratamiento A se observó una disminución de L^* en el día 1 y posteriormente este parámetro se mantuvo constante. El modelo de primer orden describió de forma correcta las cinéticas A0, A2, A15 y A24 ($R^2 > 0.80$) (Tabla I). Sin embargo, para el tratamiento A solo se obtuvo una R^2 de 0.37, esto puede deberse a que la L^* se mantuvo constante durante el tiempo de almacenamiento de la fresa. Las constantes de velocidad (k) y equilibrio (X_{eq}) fueron significativamente ($p < 0.05$) superiores para el tratamiento A en comparación con los otros tratamientos (Tabla I).

Respecto a la evolución del croma o intensidad (C^*_{ab}) de la fresa se observó una disminución de este parámetro para todos los tratamientos a excepción del tratamiento A (Fig. IB), el cual tuvo un comportamiento similar al de la luminosidad. La evolución del color rojo posiblemente es ocasionada por la oxidación de los pigmentos del fruto como las antocianinas encargadas del color característico (Heleno et al., 2013). El modelo de primer orden describió de forma aceptable las cinéticas experimentales ($R^2 > 0.70$) (Tabla I). Respecto a las constantes k y X_{eq} se observó que éstas aumentaron con respecto al tiempo de exposición de ozono gaseoso, siendo estas constantes superiores para los tratamientos A24 y A.

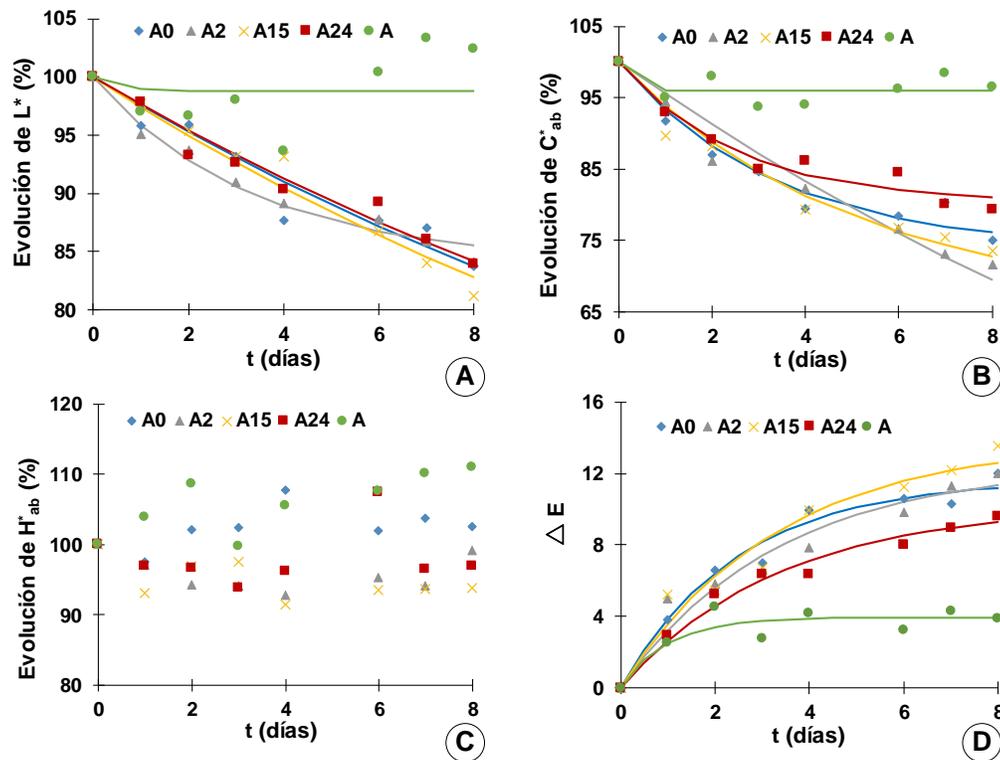


Figura I. Efecto del tiempo de exposición de ozono gaseoso (1 ppm) sobre la evolución de las propiedades cromáticas (reportada en porcentaje) de fresa durante su almacenamiento a $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$. (A) Luminosidad, (B) Croma o intensidad, (C) Hue o tono y (D) diferencial de color.

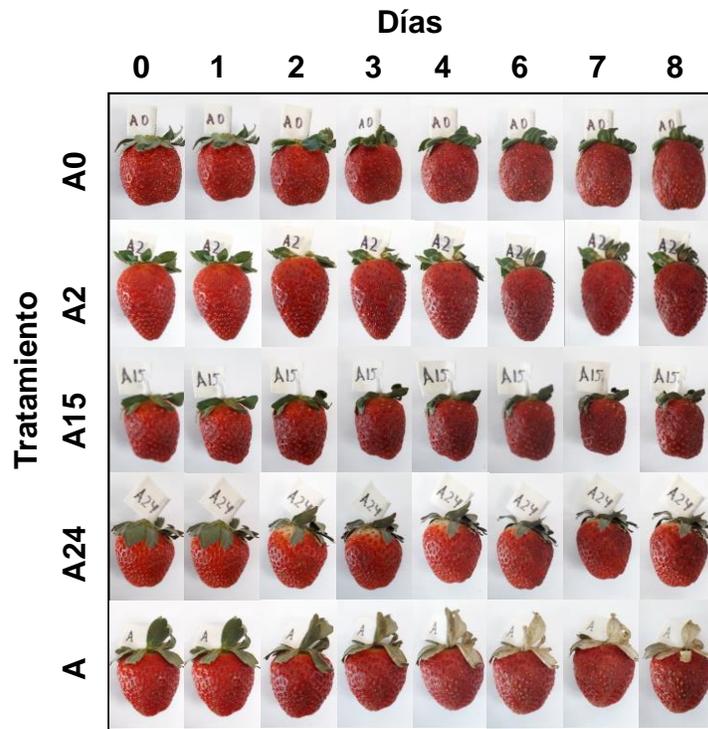


Figura II. Efecto de la exposición de ozono gaseoso (1 ppm) sobre la evolución del color y el aspecto de las fresas durante su almacenamiento.

En el caso de la evolución del ángulo hue o tono (H^*_{ab}) se observó que este parámetro se mantuvo constante durante todos los tratamientos estudiados en esta investigación (Fig. IC). Sin embargo, los valores de H^*_{ab} para el tratamiento A fueron superiores con respecto a los otros. Aday *et al.* (2014) reportaron una disminución directa en la coordenada cromática a^* en fresa conforme transcurren los días de almacenamiento. La disminución de esta coordenada repercute directamente en los resultados de H^*_{ab} . De acuerdo con Aday *et al.* (2014), la aplicación de ozono mantiene el contenido de compuestos fenólicos e inhibe químicamente los cambios en el color.

Tabla I. Constantes calculadas por el modelo cinético de primer orden (k y X_{eq}) para las propiedades cromáticas (L^* : luminosidad, C^*_{ab} : croma o intensidad y ΔE : diferencial de color) de fresas expuestas a 1 ppm de ozono gaseoso a $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$. Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Propiedad	Tiempo de tratamiento	K (min^{-1})	X_{eq}	R^2
L^*	A0	0.08 ± 0.02^a	55.93 ± 11.93^a	0.95
	A2	0.23 ± 0.08^a	81.34 ± 3.32^b	0.92
	A15	0.05 ± 0.00^a	46.32 ± 10.90^a	0.81
	A24	0.03 ± 0.02^a	40.60 ± 10.85^a	0.84
	A	1.25 ± 0.25^b	94.46 ± 1.73^b	0.37
C^*_{ab}	A0	0.29 ± 0.09^a	67.31 ± 5.91^a	0.90
	A2	0.35 ± 0.05^{ab}	65.23 ± 3.65^a	0.96
	A15	0.33 ± 0.28^a	65.19 ± 7.98^a	0.71
	A24	0.65 ± 0.35^{ab}	83.79 ± 2.76^b	0.86
	A	0.90 ± 0.02^b	89.74 ± 1.47^b	0.97
ΔE	A0	0.40 ± 0.20^a	8.97 ± 0.10^b	0.84
	A2	0.33 ± 0.07^a	15.31 ± 1.14^c	0.97
	A15	0.32 ± 0.18^a	12.85 ± 1.52^c	0.89
	A24	0.43 ± 0.28^a	8.90 ± 1.79^b	0.97
	A	1.67 ± 0.58^b	3.52 ± 1.34^a	0.61

Finalmente, con respecto a la evolución global del color (ΔE) de las fresas, se observaron cambios menores en ΔE cuando el tiempo de exposición a ozono gaseoso fue superior (Fig. ID). El modelo de primer orden describió de forma aceptable las cinéticas experimentales ($R^2 > 0.60$) (Tabla I). Respecto a la constante k , esta fue significativamente ($p < 0.05$) superior para el tratamiento A, mientras que la constante X_{eq} fue significativamente menor en comparación con los otros tratamientos.

La Fig. II muestra el efecto de la exposición de ozono gaseoso sobre la evolución del color y el aspecto físico de las fresas durante su almacenamiento. En términos generales, se observó un oscurecimiento (disminución de L^* , Fig. IA) de la fresa conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, especialmente en las muestras que tuvieron un menor tiempo de exposición al ozono gaseoso. Keutgen *et al.* (2008) reportaron un oscurecimiento significativo conforme pasa el tiempo de almacenamiento de la fresa, especialmente en aquellas que no son sometidas a ozonificación.

Respecto a los sépalos de la fresa (Fig. II), existe un mayor cambio en su color conforme aumenta el tiempo de exposición al ozono gaseoso, lo cual puede ser atribuido su efecto blanqueador (Aday *et al.*, 2014). Las muestras del tratamiento A, pese a conservar la tonalidad roja característica de la fresa, fue la que presentó un mayor cambio de color en los sépalos del fruto. Sin embargo, el tratamiento A24 fue

aquel donde mejor se preservaron el color externo del fruto y de sus sépalos.

Finalmente, se observó una disminución del tamaño del fruto conforme aumenta su tiempo de almacenamiento (Fig. II). Este efecto fue más pronunciado en el tratamiento control (A0) y en aquellos donde el tiempo de exposición a ozono gaseoso fue menor (A2 y A15). Por otro lado, los tratamientos A24 y A fueron aquellos que mejor preservaron la forma del fruto durante los 8 días de almacenamiento.

CONCLUSIÓN

En el presente estudio se evaluó el efecto del tiempo de exposición de ozono gaseoso sobre la evolución de las propiedades cromáticas en fresas, a partir de cambios en la luminosidad, croma o intensidad, hue o tono y diferencial de color. El modelo matemático empleado se ajustó de forma correcta a las cinéticas experimentales ($R^2 > 0.60$). Las constantes de velocidad (k) calculadas por el modelo fueron superiores para los tratamientos con mayor tiempo de exposición al ozono gaseoso. Por otro lado, bajo esta misma condición, las constantes de equilibrio (X_{eq}) fueron mayores para L^* y C^*_{ab} y menor en ΔE . La exposición de ozono de 0 a 15 horas no mostró un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la conservación de las propiedades cromáticas de la fresa durante su almacenamiento. Los tratamientos de exposición de ozono durante 24 horas (A24) y tiempo completo de 8 días (A) permitieron mantener el color y la forma de las fresas. Sin embargo, el tratamiento A afectó la tonalidad amarillo-verdosa de los sépalos del fruto, la cual evolucionó a tonos grisáceos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aday, M. S., Büyükcan, M. B., Temizkan, R., & Caner, C. (2014). Role of ozone concentrations and exposure times in extending shelf life of strawberry. *Ozone: Science & Engineering*, 36(1), 43-56.
- Parvez, S., & Wani, I. A. (2018). Postharvest biology and technology of strawberry. In *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits* (pp. 331-348). Springer, Cham.
- Crozier, L., Park S., Munn, E., Ibanez, D., Holden, N. & Potts H. (2019). Shelf life extension of berries using in-pack ozone. *Italian Journal of Food Science*, (10), 60-66.
- González Razo, F. D. J., Rebollar Rebollar, S., Hernández Martínez, J., Morales Hernández, J. L., & Abarca Ramírez, O. (2019). Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44(1), 260-272.
- Guzel-Seydim, Z. B., Greene, A. K., & Seydim, A. C. (2004). Use of ozone in the food industry. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), 453-460.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.
- Heleno, F. F., De Queiroz, M. E. L., Neves, A. A., Freitas, R. S., Faroni, L. R. A., & De Oliveira, A. F. (2014). Effects of ozone fumigation treatment on the removal of residual difenoconazole from strawberries and on their quality. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49(2), 94-101.
- Keutgen, A. J., & Pawelzik, E. (2008). Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 10-18.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42(2), 57-66.

- Mezzetti, B., Giampieri, F., Zhang, Y. T., & Zhong, C. F. (2018). Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. *Journal of Berry Research*, 8(3), 205-221.
- Onopiuk, A., Póltorak, A., Moczowska, M., Szpicer, A., & Wierzbicka, A. (2017). The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus ideaus* raspberries. *CyTA-Journal of Food*, 15(4), 563-573.
- Ozuna, C., Puig, A., Garcia-Perez, J. V., & Cárcel, J. A. (2014). Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 130-137.
- Parzanese, M. (2013). *Tecnologías para la Industria Alimentaria: Ozono en alimentos* (No. H2720). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina).