

La variedad de fresa influye en la efectividad del ozono gaseoso sobre la conservación de las propiedades cromáticas del fruto

F. Macías-Gallardo¹, J. I. Martínez-Castillo², E. Mares-Mares¹, M. R. Abraham-Juárez^{1,2}, G. Rodríguez-Hernández^{1,2}, D. Rivera-Caballero³ y C. Ozuna^{1,2,*}

1 Departamento de Alimentos División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca **2** Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca **3** Investigación y Desarrollo, Ozono Carbar's. *cesar.ozuna@ugto.mx

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la influencia que tiene la variedad de fresa sobre la efectividad en la aplicación del ozono en cuanto a las propiedades cromáticas del fruto durante 12 días. Lotes de 400 g de fresa de las variedades San Andreas y Camino Real fueron almacenadas a $10\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ y expuestas a diferentes concentraciones de ozono gaseoso (0.3 y 1 ppm) durante 24 h. Posterior a la exposición de ozono, las fresas continuaron su almacenamiento en refrigeración. Se tomaron muestras diariamente y se midieron las coordenadas cromáticas 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 ($R^2 > 0.87$). La variedad San Andreas fue más susceptible a presentar cambios en sus propiedades cromáticas por la aplicación de ozono gaseoso en comparación con la variedad Camino Real. Por otro lado, los tratamientos a bajas concentraciones de ozono permitieron preservar el color del producto.

Palabras clave: Modelo de cinética de primer orden; Propiedades fisicoquímicas; Calidad.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the influence of strawberry variety on the effectiveness of ozone application, measured on the chromatic properties of the product during 12 days of storage. To reach this objective, 400 g batches of strawberries of San Andreas and Camino Real varieties were stored at $10\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ and then exposed to gaseous ozone (0.3 and 1 ppm) for 24 h. After the ozone exposure, the strawberries continued to be stored under refrigeration. Samples were taken daily and the chromatic coordinates on 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 ($R^2 > 0.87$). The San Andreas variety was more susceptible to changes in its chromatic properties due to the application of gaseous ozone compared to the Camino Real variety. On the other hand, the treatments at low ozone concentrations allowed to preserve the color of the product.

Keywords: First-order kinetic model; Physicochemical properties; Quality.

Área: Frutas y Hortalizas

INTRODUCCIÓN

México se ubica entre los tres países con mayor producción y exportación de fresa (Barcenas et al., 2019). En 2019, el país alcanzó una superficie sembrada de fresa de aproximadamente 14 mil hectáreas con una producción de alrededor de 230 mil toneladas (INEGI, 2019). Actualmente, en México se cosechan diversas variedades de fresa, las cuales se diferencian unas de otras por la época de cosecha, resistencia de plagas, enfermedades y sus características fisicoquímicas, siendo el color una de las más importantes para su comercialización (CONAFRE, 2011).

En la década de 1990, el ozono fue declarado GRAS (Generally Recognized As Safe) y a partir de esos años se comenzaron a desarrollar aplicaciones en procesos de limpieza y desinfección, al igual que en técnicas de conservación en los alimentos. En los últimos años, el uso de ozono ha sido ampliamente utilizado en la industria de postcosecha de frutas y vegetales (Panou *et al.*, 2021). Sin embargo, se ha demostrado que existen diferentes factores que pueden influir sobre la efectividad de esta tecnología no térmica en la conservación de los productos hortofrutícolas (Ferreira *et al.*, 2017). Por tal motivo, el objetivo general de esta investigación fue evaluar la influencia que tiene la variedad de fresa sobre la efectividad en la aplicación del ozono en cuanto a las propiedades cromáticas del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y ozonificación. Las fresas (*Fragaria x ananassa*) variedad Camino Real (CR) y San Andreas (SA) fueron obtenidas por productores locales de la ciudad de Irapuato, México. 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 $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$. Los tratamientos de ozonificación se realizaron a través de una cámara frigorífica ($10 \pm 0.2^\circ\text{C}$) en la cual se instaló un generador de ozono gaseoso provisto por la empresa Ozono Carbar's (León, México). Las fresas fueron expuestas a diferentes concentraciones de ozono gaseoso (0.3 y 1 ppm) durante 24 h. Una vez finalizado el tratamiento las fresas continuaron su almacenamiento en refrigeración ($10 \pm 0.2^\circ\text{C}$).

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.

$$\text{Ecuación 1: } C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Ecuación 2: } h^*_{ab} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

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 multifactorial con un análisis *post-hoc* de Tukey empleando el programa estadístico Statgraphics versión 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luminosidad. En términos generales, en todos los tratamientos se observó una disminución constante de los valores de luminosidad (L^*) de las fresas (Fig. 1).

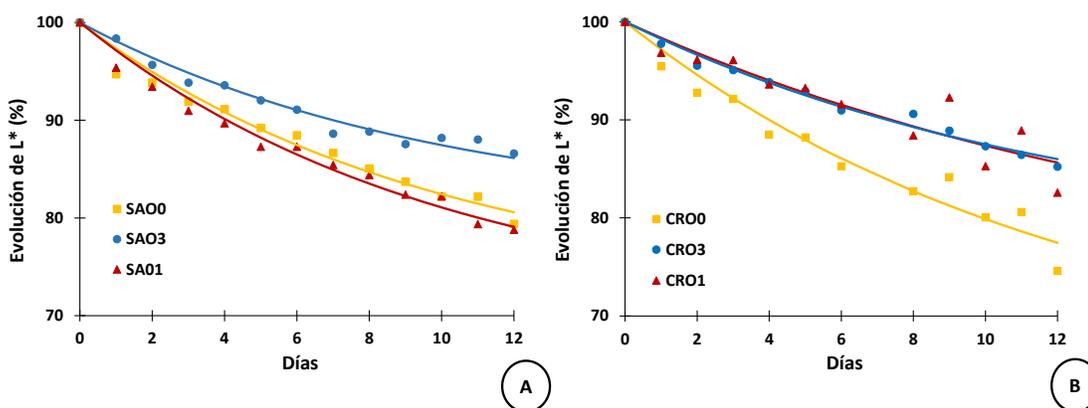


Figura 1. Efecto de la concentración de ozono gaseoso sobre la evolución de la luminosidad (L^*) (reportada en porcentaje) de fresa de la variedad San Andreas (SA) y Camino Real (CR) durante su almacenamiento a $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$. SAO0= 0 ppm [O_3], SAO3= 0.3 ppm [O_3], SAO1= 1 ppm [O_3], CRO0= 0 ppm [O_3], CRO3= 0.3 ppm [O_3], CRO1= 1 ppm [O_3].

Para ambas variedades de fresa, las muestras control (SAO0 y CRO0) presentaron los porcentajes muy bajos de L^* en el día 12 (79.38 y 74.60%, respectivamente). En el caso de la variedad SA, el tratamiento SAO1 mostró una disminución en los valores de L^* (21.22%) muy similar al control (SAO0, 20.62%). Esta disminución pudo ser atribuida a que la alta concentración de ozono provoca lesiones superficiales en la pared celular (Panou *et al.*, 2021). Sin embargo, este comportamiento no se observó en la variedad CR (tratamiento CRO1), lo cual puede ser debido a las diferencias que existen entre cada genotipo. Respecto al día 12 de almacenamiento, en la variedad SA se encontró que el tratamiento SAO3 fue el que mostró menor pérdida ($p > 0.05$) en los valores de la coordenada L^* (13.42 %) (Fig. 1A). Por otro lado, para la variedad CR, los tratamientos CRO3 y CRO1 mostraron una menor pérdida en los valores de la coordenada L^* (14.77 y 17.43%, respectivamente).

Los valores experimentales de L^* se ajustaron correctamente a un modelo de cinética de primer orden ($R^2 > 0.92$) (Tabla I). La variedad de la fresa no tuvo influencia en las constantes de velocidad (k) y equilibrio (X_{eq}). Sin embargo, la concentración de ozono empleada sí afectó a ambas constantes. Respecto a la constante k , se presentaron valores significativamente menores ($p > 0.05$) para los tratamientos expuestos a 0.3 ppm de ozono (SAO3 y CRO3) en comparación a los expuestos a 1 ppm (SAO1 y CRO1). Sin embargo, los valores de k de estos tratamientos no presentaron diferencias significativas con respecto al control, esto se puede traducir en que la exposición a 0.3 ppm de ozono gaseoso provoca que la L^* sufra una menor disminución. Para X_{eq} todos los tratamientos que fueron expuestos a ozono se mostraron valores de esta constante significativamente mayores ($p > 0.05$) ante los

controles. Esta tendencia indica que la exposición a ozono gaseoso contribuye a reducir la pérdida de la L^* ya que alcanzan más rápido el equilibrio con respecto a aquellas que no han sido ozonificadas.

Tabla I. Constantes calculadas por el modelo cinético de primer orden (k y X_{eq}) para las propiedades cromáticas de fresas SA y CR expuestas a ozono gaseoso (0, 0.3 y 1 ppm) por 24 h a $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$.

Propiedad cromática	Tratamientos	k (min^{-1})	X_{eq}	R^2
Luminosidad (L^*)	SAO0	0.09 ^{abx}	69.39 ^{ax}	0.97
	SAO3	0.10 ^{ax}	80.15 ^{bx}	0.96
	SAO1	0.10 ^{bx}	70.85 ^{bx}	0.98
	CRO0	0.10 ^{abx}	58.61 ^{ax}	0.97
	CRO3	0.08 ^{ax}	77.30 ^{bx}	0.97
	CRO1	0.10 ^{bx}	77.46 ^{bx}	0.92
Croma o intensidad (C^*_{ab})	SAO0	0.08 ^{ax}	64.50 ^{ax}	0.88
	SAO3	0.20 ^{ax}	81.28 ^{ax}	0.87
	SAO1	0.20 ^{ax}	68.21 ^{ax}	0.95
	CRO0	0.23 ^{ax}	61.93 ^{ay}	0.94
	CRO3	0.10 ^{ax}	57.54 ^{ay}	0.93
	CRO1	0.10 ^{ax}	57.39 ^{ay}	0.93
Diferencial de color (ΔE)	SAO0	0.14 ^{ax}	17.59 ^{bx}	0.94
	SAO3	0.20 ^{ax}	10.11 ^{ax}	0.93
	SAO1	0.19 ^{ax}	18.08 ^{bx}	0.96
	CRO0	0.12 ^{ax}	23.52 ^{by}	0.97
	CRO3	0.15 ^{ax}	13.67 ^{ay}	0.94
	CRO1	0.07 ^{ax}	21.88 ^{by}	0.95

Superíndices diferentes entre filas de la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos según la prueba de rangos múltiples LSD. Donde a y b están en función de la concentración y x y y en función de la variedad.

Croma o intensidad. En las Figuras 2A y 2B se observa que, para ambas variedades de fresa, hubo una disminución del croma o intensidad (C^*_{ab}) todos los tratamientos de ozonificación. En términos generales, para la variedad SA se observó una disminución de C^*_{ab} más pronunciada en el tratamiento SAO1 con respecto al SAO3, mientras que para la variedad CR, no se observó diferencias entre los tratamientos CRO1 y CRO3. En el día 12 de almacenamiento, en la variedad SA se observó que, el tratamiento con mayor concentración de ozono (SAO1), provocó una mayor pérdida ($p > 0.05$) de C^*_{ab} . La disminución de este parámetro en SAO1 pudo ser ocasionado por las altas concentraciones de ozono, esta posiblemente causó un rompimiento en los anillos aromáticos de las antocianinas produciendo mayores tasas de degradación (Aday *et al.*, 2014). En el caso de la variedad CR, el control (CRO0) fue el que presentó una mayor disminución de los valores en C^*_{ab} con respecto a los tratamientos con ozonificación (CRO1, CRO3), los cuales no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ambos. Esta tendencia coincide con lo reportado por Aday *et al.* (2014), quienes sugieren que las fresas que no son expuestas a ningún tipo de tratamiento presentan reacciones de pardeamiento en comparación a las fresas tratadas con ozono líquido (0.075 a 0.25 ppm durante 2 y 5 min) causando que la tonalidad de fruto sea más baja.

Los valores experimentales de C^*_{ab} se ajustaron a un modelo de primer orden, el cual ajustó correctamente a los datos experimentales de C^*_{ab} ($R^2 > 0.87$) (Tabla I). Respecto a la constante k , esta no se vio afectada por el tipo de variedad de fresa y la concentración de ozono. Adicionalmente, la constante X_{eq} no se vio influenciada por la concentración de ozono, sin embargo, la variedad de fresa sí afectó a dicha constante. En este sentido, la variedad SA mostró valores significativamente ($p > 0.05$) más altos

para la constante X_{eq} con respecto a CR, esta tendencia sugiere que la variedad CR es más susceptible a tener pérdidas en C_{ab}^* en comparación con la variedad SA.

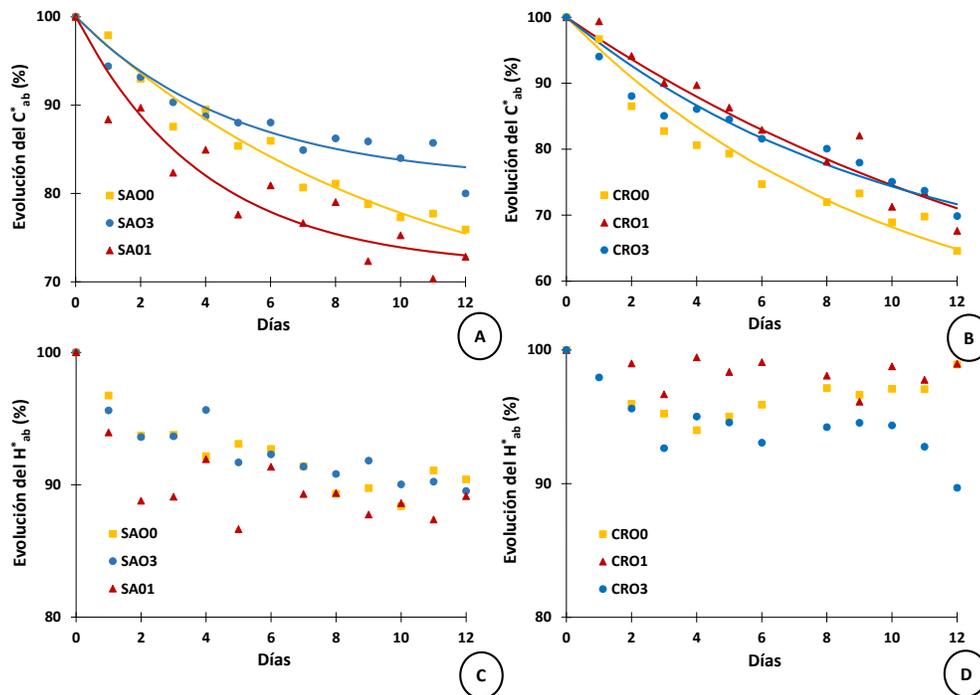


Figura 2. Efecto de la concentración de ozono gaseoso sobre la evolución de croma (C_{ab}^*) y hue (H_{ab}^*) (reportada en porcentaje) de fresa de la variedad San Andreas (SA) y Camino Real (CR) durante su almacenamiento a $10\pm 0.2^\circ\text{C}$. Donde (A; B) Croma o intensidad, (C; D) Hue o tono; SAO0= 0 ppm [O_3], SAO3= 0.3 ppm [O_3], SAO1= 1 ppm [O_3], CRO0= 0 ppm [O_3], CRO3= 0.3 ppm [O_3], CRO1= 1 ppm [O_3].

Ángulo hue o tono. En el caso de la evolución del ángulo hue o tono (H_{ab}^*), la variedad de fresa SA mostró una ligera disminución en los valores de H_{ab}^* durante el almacenamiento (Fig. 2C), mientras que, para la variedad CR no se observó una tendencia clara en la evolución de H_{ab}^* durante los 12 días (Fig. 2D). Por tal motivo, el modelo de cinética de primer orden no pudo ser empleado para modelar los datos experimentales.

Diferencial de color. En todos los tratamientos se observó un aumento en el diferencial de color (ΔE) durante el almacenamiento (Fig. 3). En el caso de la variedad SA (Fig. 3A), SAO1 mostró mayores incrementos en ΔE , y en el día 12 de almacenamiento, SAO3 presentó un valor de ΔE significativamente menor ($p>0.05$) (10.34%) en comparación de SAO0 (14.21%) y SAO1 (15.03%). Respecto a la variedad CR (Fig. 3B), el tratamiento CRO0 mostró los mayores cambios de ΔE , sin embargo, para el día 12 de almacenamiento, no se observaron diferencias significativas entre los valores de ΔE de CRO0 (16.08%), CRO3 (12.18%) y CRO1 (13.23%). Ferreira *et al.* (2017) reportaron que las diferencias en el color de la fresa están asociadas directamente con la capacidad del ozono para retardar el proceso de deterioro.

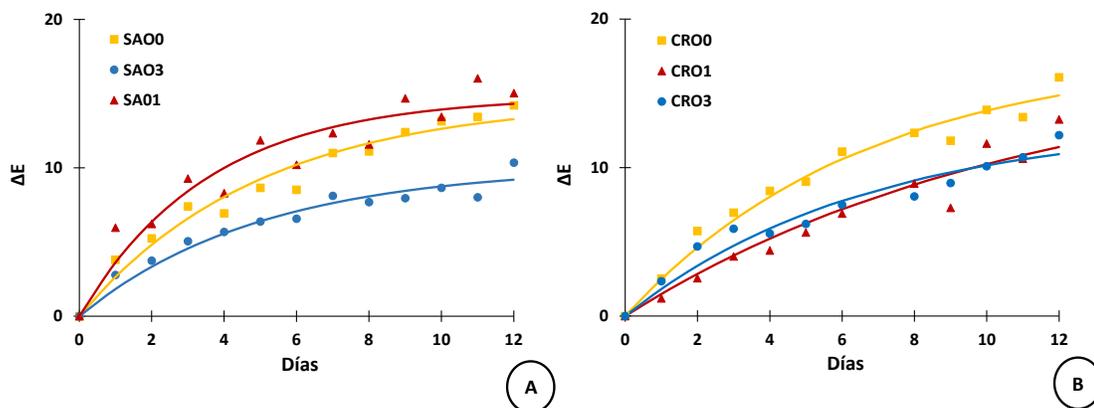


Figura 3. Efecto de la concentración de ozono gaseoso sobre la evolución del diferencial de color (ΔE) (reportada en porcentaje) de fresa de la variedad San Andreas (SA) y Camino Real (CR) durante su almacenamiento a $10 \pm 0.2^\circ\text{C}$. SAO0= 0 ppm [O_3], SAO3= 0.3 ppm [O_3], SAO1= 1 ppm [O_3], CRO0= 0 ppm [O_3], CRO3= 0.3 ppm [O_3], CRO1= 1 ppm [O_3].

Los valores de ΔE se modelaron a través de un modelo de primer orden, el cual ajustó correctamente con las cinéticas experimentales con una $R^2 > 0.93$ (Tabla I). Respecto a la constante k , no mostró diferencia significativa entre los tratamientos y variedad, indicando que, la concentración de ozono y la variedad de la fresa no influyeron sobre la velocidad en los cambios de ΔE . Por otro lado, la constante X_{eq} se vio afectada por la concentración de ozono y la variedad de fresa. En este sentido, la constante X_{eq} fue significativamente menor ($p > 0.05$) para la concentración 0.3 ppm (11.87) respecto al resto de los tratamientos (0 ppm=20.55, 1 ppm=19.98). Este hecho se puede interpretar en que la concentración más baja de ozono llega a obtener cambios de ΔE más bajos con respecto a los otros tratamientos. En el caso de la variedad de fresa, los valores de X_{eq} fueron significativamente ($p > 0.05$) inferiores para SA con respecto a CR. Esta tendencia indica que la variedad CR es más propensa a sufrir cambios globales de color con respecto a SA.

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.
- Barcenas, D., Guillén, D., Basaldua, C., Ramos, M. & Valle, M. (2019). Etilogía de la secadera de la fresa (*Fragaria* spp.) en Morelos, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(3).
- CONAFRE. (2011). Plan rector nacional 2012 para el sistema producto fresa. Zamora, Michoacán: Comité de la Agroindustria y Productores de la Fresa A.C. http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNPS_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNPS_FRESA_2012.pdf
- Ferreira, W. F. D. S., Alencar, E. R. D., Alves, H., Ribeiro, J. L., & Silva, C. R. D. (2017). Influence of pH on the efficacy of ozonated water to control microorganisms and its effect on the quality of stored strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6), 692-700.
- INEGI. (2019). INEGI Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. Recuperado el 03/04/21: https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/#Informacion_general
- Ozuna, C. et al. (2014). Ultrasonically enhanced desalting of cod (*Gadus morhua*). Mass transport kinetics and structural changes. *LWT-Food Science and Technology*, 59, 130-137.
- Panou, A. A., Akrida-Demertzi, K., Demertzi, P., & Riganakos, K. A. (2021). Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 1-14.