

Recubrimiento de pectina y un híbrido de hidroxilaminar de zinc con limoneno para extender la vida de anaquel de fresas

Pectin and zinc hydroxylaminar with limonene hybrid coating for strawberry shelf life extension

Ismael García Vera ¹;

Jorge Manuel Silva Jara ²;

Carlos Arnulfo Velázquez Carriles ³



DOI: <https://doi.org/10.26495/x8vgh660>

Resumen

Las fresas son un fruto consumido en el mundo por su sabor y propiedades nutrimentales. Sin embargo, se deterioran rápidamente debido al crecimiento de microorganismos deterioradores, impactando en su calidad. Los recubrimientos comestibles permiten retardar la maduración de los frutos extendiendo su vida de anaquel. A su vez, estos pueden ser adicionados con nanopartículas para proveer actividad antimicrobiana. El objetivo del artículo fue formular recubrimientos comestibles a base de pectina cítrica y enriquecidos con nanohíbridos de hidróxidos laminares de zinc con limoneno, y aplicados en fresas almacenadas en condiciones de refrigeración, donde se evaluó su calidad microbiológica (microorganismos indicadores) y fisicoquímica (pérdida de peso, acidez titulable, sólidos solubles, firmeza). Las fresas con recubrimiento mostraron reducción en el desarrollo de mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras de 1, 1.5 y 0.75 log, respectivamente, así como un aumento de la firmeza y acidez titulable del fruto, mientras se mantuvo la cantidad de sólidos solubles en el periodo de 20 días. Los resultados de este estudio demuestran que el uso de desechos agroindustriales ricos en pectina, como las cáscaras de cítricos, pueden funcionar como la base de recubrimientos que se pueden aplicar en frutos que se deterioran rápidamente.

Palabras clave:

Calidad fisicoquímica, calidad microbiológica, hidroxisales laminares, limoneno, recubrimientos comestibles.

¹ Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México, ismael.gvera@alumnos.udg.mx

² Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México, jorge.silva@academicos.udg.mx

³ *Centro Universitario de Tlajomulco, Universidad de Guadalajara, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México, arnulfo.velazquez@academicos.udg.mx

Abstract

Strawberries are fruits consumed worldwide for their taste and nutritional properties. However, their decay is quick due to the growth of indicator microorganisms that impact their quality. Edible coatings allow to retard fruit ripening, extending their shelf life. Also, these coatings can be enriched with nanoparticles that provide antibacterial properties. In this study, edible coatings of citric pectin with nanohybrids of laminar hydroxides of zinc and limonene were applied to strawberries in freezing conditions, where their microbiological (indicator microorganisms) and physicochemical (weight loss, titratable acidity, soluble solids, firmness) quality was evaluated in a period of 20 days. Coated strawberries showed a reduction in mesophilic aerobic, total coliforms, molds, and yeast growth of 1, 1.5, and 0.75 log, respectively, as well as an increase in firmness and titratable acidity of the fruit, while soluble solids remained constant through the 20 days period. Results in this research demonstrated that the use of agroindustry waste rich in pectin, such as citric peel, can work as a base for edible coatings to be applied in fruits that quickly deteriorate.

Keywords:

Edible coatings, laminar hydroxysalts, limonene, microbiological quality, physicochemical quality.

1. INTRODUCCIÓN

Las fresas (*Fragaria ananassa* D.) es un fruto obtenido de una planta de tipo herbáceo con un sistema radicular fasciculado, el cual está compuesto de raíces y raicillas, y que crece a nivel de suelo. En etapa de maduración su color es rojo debido al contenido de antocianinas, sabor dulce, aroma característico y con forma de corazón. Debido a su delicadeza, este fruto debe ser cosechado de forma manual (SIAP, 2022, InfoAgro, 2022). En México, la producción de frutos del bosque que incluyen las fresas, representa una importancia económica con un valor estimado de 3,005 millones de dólares en el 2020 (Ramírez-Padrón, 2020). Son apreciadas debido a su sabor y propiedades benéficas a la salud. Desafortunadamente, debido a su textura débil, rápida pérdida de firmeza y susceptibilidad a infecciones por hongos, su calidad se deteriora después de su cosecha, dificultando el almacenamiento durante meses y representando un peligro a la salud (Cybulska et al., 2022; Kelly et al., 2021; Mendes da Silva et al., 2021). Algunos microorganismos patógenos asociados a fresas incluyen *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, y *Cronobacter* (Dziedzinska et al., 2018), así como *Shigella*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* (Gómez-Aldapa et al., 2018).

Para evitar la contaminación y desarrollo de microorganismos en los alimentos se han buscado alternativas como el uso de compuestos naturales obtenidos de plantas. El limoneno es uno de los terpenos más comunes en la naturaleza, además de ser potencialmente utilizado como antibacteriano en la preservación de alimentos, ya que ha demostrado ser un bactericida de amplio espectro, seguro y de baja toxicidad. Inhibe significativamente el crecimiento de bacterias y hongos (Andriotis et al., 2021; Han et al., 2019), sin embargo, sus propiedades se pueden perder por factores como el oxígeno, luz y temperatura. Muchos estudios se han realizado para encapsular este compuesto para preservar sus propiedades (Ibáñez et al., 2020).

Una forma novedosa para el encapsulamiento y aplicación de compuestos antimicrobianos es la nanotecnología. Las hidroxisales laminares son nanocompuestos con la capacidad de intercalar moléculas en su espacio interlaminar, favoreciendo la liberación controlada de compuestos antimicrobianos como el timol y carvacrol (Velázquez-Carriles et al., 2022). Estos compuestos se han utilizado para intercalar compuestos como la nisina contra *Enterococcus hirae* (Velázquez-Carriles et al., 2022), ácido tánico contra *E. coli* y *Salmonella* Enteritidis (Romero-García et al., 2023), entre otros.

La aplicación de nanocompuestos en los alimentos se puede realizar a través del uso de recubrimientos comestibles. Estos recubrimientos son se componen de lípidos y polisacáridos que pueden ser obtenidos de residuos agroindustriales, como el almidón del nixtamalizado del maíz, o la pectina de cítricos como la lima (Merino et al., 2022). Se ha demostrado que un recubrimiento de quitosano con ácido ascórbico mejoró la calidad postcosecha de fresas en temperaturas de refrigeración, evidenciado por la reducción de actividad enzimática, efecto antimicrobiano y aumento en la vida de anaquel (Shahzad-Salem et al., 2021). Otros recubrimientos de quitosano con ácido gálico mostraron actividad antimicrobiana contra *E. coli* O157:H7 bajo irradiación UV, favoreciendo la reducción del crecimiento microbiano y manteniendo las propiedades fisicoquímicas de las fresas (Zhang et al., 2022).

El objetivo de este trabajo fue formular recubrimientos alimentarios a partir de pectina cítrica e hidróxidos laminares de zinc con limoneno, y evaluar su efectividad en la conservación de fresas en refrigeración. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas (pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable) y la cuenta de microorganismos indicadores (mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras), por la técnica de vaciado en placa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las sales hidroxisales de zinc y los híbridos caracterizados fueron donados por el Grupo de Investigación en Nanobiotecnología CUCEI. Para los recubrimientos, se utilizó pectina cítrica (LM GENU, USA), CaCl_2 como agente entrecruzante, glicerol como plastificante, de acuerdo con lo reportado por Shivangi et al. (2021). La pectina se disolvió y se mantuvo en agitación durante 24 h y posteriormente se agregó el CaCl_2 y el glicerol; se prepararon cuatro distintos recubrimientos: pectina, pectina con hidroxisal laminar de zinc, pectina con limoneno y pectina con el híbrido. Se adquirieron fresas de mercados locales de la ciudad de Guadalajara, México, se lavaron y desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio durante 20 s. Posteriormente se secaron y se sumergieron en distintas soluciones de recubrimientos: Pectina (P), Pectina-Limoneno (P-Lim), Pectina-hidroxisal de zinc (P-LHS), y Pectina-híbrido (P-LHS-Lim). Las fresas se dejaron secar y se mantuvieron en refrigeración, haciendo muestreos cada 3 días durante 20 días. Se evaluaron microorganismos indicadores por el método de dilución y vaciado en placa en agar cuenta estándar (bacterias mesófilas aerobias), agar bilis rojo-violeta (coliformes totales), y agar papa dextrosa (hongos y levaduras), como control se evaluaron fresas sin recubrimiento. Además, se midió la pérdida de peso en una balanza, la acidez titulable por titulación con hidróxido de sodio y el indicador fenoltaleína, la firmeza con un penetrómetro y los sólidos solubles colocando jugo del fruto en el prisma de un refractómetro SOONDA. Para la medición del pH se utilizó un potenciómetro HANNA directo en el fruto, el color fue medido con un colorímetro y la conductividad con un conductímetro, siguiendo las indicaciones de los fabricantes. Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se analizaron con el software estadístico Statgraphics (XVIII).

3. RESULTADOS

La figura 1 muestra el recuento de mesófilos aerobios (BMA), coliformes totales (CT) y hongos y levaduras (HL). Se puede observar una reducción significativa de BMA (Fig. 1a) en los primeros 6 días, con un incremento de la población para el día 20, donde el híbrido mantuvo una reducción con respecto del control sin recubrimiento. El desarrollo de coliformes totales se redujo en 1.5 log para día 20 utilizando el recubrimiento con híbridos (Fig. 1b), mientras que el recubrimiento solo o con los materiales por separado logró una inhibición de 0.75 log. Finalmente, los hongos presentaron inhibición de 0.75 log para el recubrimiento con hidroxisal y limoneno (Fig. 1c).

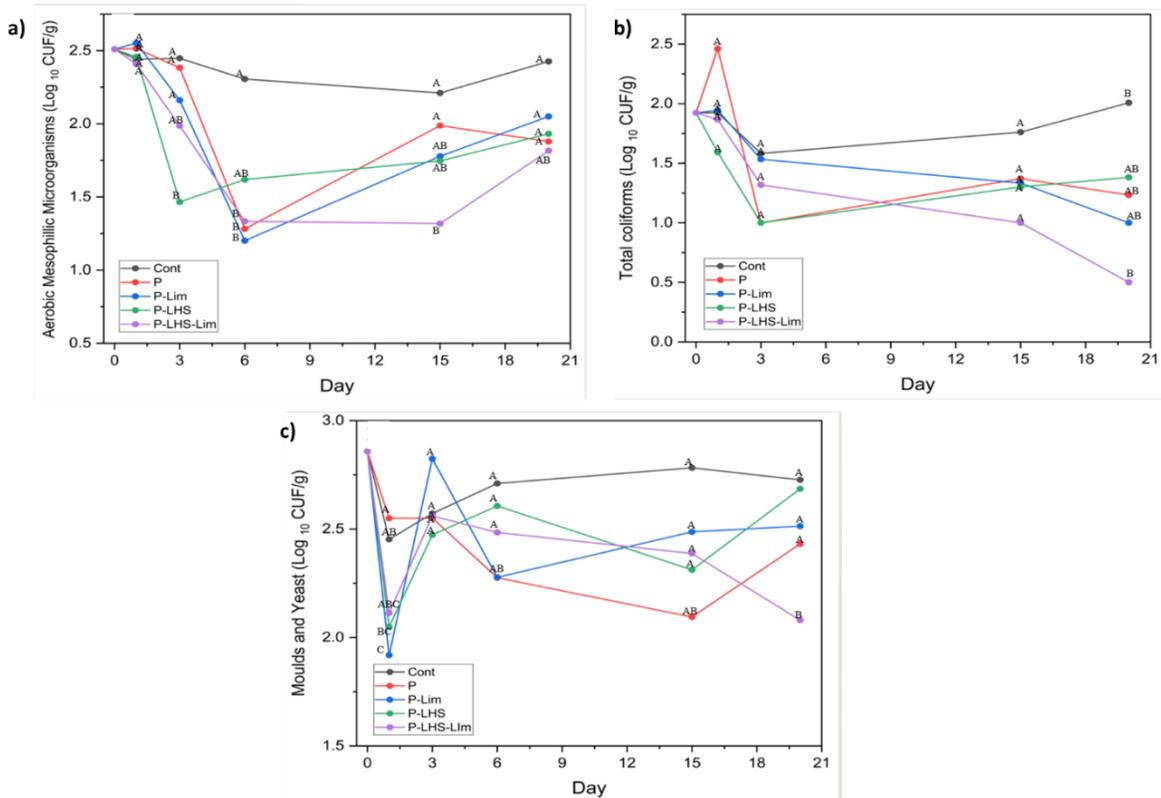


Figura 1. Evaluación de calidad microbiológica de fresas recubiertas durante 20 días en refrigeración. a) Mesófilos aerobios, b) Coliformes totales, c) Hongos y levaduras.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se muestran los parámetros fisicoquímicos evaluados. El pH, color y conductividad no mostraron diferencia significativa (datos no mostrados).

Las fresas con recubrimientos y el híbrido tuvieron mayor pérdida de peso con respecto del control de aproximadamente 10%, mientras que aquellas con recubrimiento con hidroxisal, limoneno o solo pectina, no mostraron diferencia significativa. Por otro lado, la firmeza incrementó en las fresas con recubrimiento con limoneno y con el híbrido de manera significativa, mientras que el recubrimiento con hidroxisal perdió firmeza después del día 20. La acidez titulable mostró un incremento en los primeros días seguido de una disminución, la cual fue menor para las fresas con recubrimiento de híbridos comparando con los otros tratamientos. Los sólidos solubles no presentaron diferencia significativa para el día 20, pero durante el periodo de evaluación mantuvieron valores superiores a los del control alrededor del día 12.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de las fresas con recubrimientos. P = Pectina, P-Lim = Pectina con limoneno, P-LHS = Pectina con hidroxisal laminar de zinc; P-LHS-Lim = Pectina con hidroxisal laminar de zinc y limoneno.

Fuente: elaboración propia.

Días	Control	P	P-Lim	P-LHS	P-LHS-Lim
Peso (%)					
1	98.4 ± 0.1 ^A	98.8 ± 0.2 ^B	99.0 ± 0.0 ^B	99.3 ± 0.0 ^C	98.9 ± 0.1 ^B
3	97.8 ± 0.0 ^C	96.9 ± 0.2 ^B	97.0 ± 0.9 ^{BC}	99.0 ± 0.1 ^D	96.0 ± 0.2 ^A
6	97.5 ± 0.3 ^{BC}	97.2 ± 0.5 ^B	96.5 ± 0.3 ^B	98.3 ± 0.2 ^C	95.1 ± 1.2 ^A
12	96.5 ± 0.9 ^{CD}	95.5 ± 0.9 ^{ABC}	93.8 ± 1.2 ^{AB}	97.0 ± 0.3 ^D	92.9 ± 3.4 ^A
15	95.5 ± 0.8 ^B	93.7 ± 2.3 ^{AB}	92.7 ± 0.7 ^A	92.2 ± 1.4 ^A	91.5 ± 0.7 ^A
20	91.9 ± 0.7 ^B	89.5 ± 3.4 ^B	90.3 ± 0.1 ^B	91.6 ± 0.8 ^B	83.0 ± 5.9 ^A
Firmeza (N/cm ²)					
1	15.03 ± 2.83 ^A	13.72 ± 0.00 ^A	15.04 ± 0.57 ^A	23.2 ± 4.53 ^B	13.73 ± 3.40 ^A
3	24.84 ± 5.03 ^C	10.78 ± 4.27 ^A	18.30 ± 3.44 ^{BC}	14.04 ± 3.97 ^{AB}	21.24 ± 2.99 ^{BC}
6	14.71 ± 5.19 ^A	18.63 ± 12.52 ^A	19.94 ± 4.42 ^A	23.53 ± 3.53 ^A	14.04 ± 5.58 ^A
12	14.71 ± 5.10 ^A	26.15 ± 11.36 ^A	22.88 ± 5.91 ^A	16.99 ± 2.04 ^A	24.51 ± 9.46 ^A
15	15.69 ± 1.70 ^A	26.15 ± 7.49 ^B	22.22 ± 8.22 ^{AB}	19.28 ± 0.57 ^{AB}	21.57 ± 4.49 ^{AB}
20	16.01 ± 4.08 ^{AB}	17.98 ± 10.49 ^{AB}	21.24 ± 2.47 ^B	7.84 ± 5.88 ^A	22.22 ± 2.26 ^B
Acidez (%)					
1	0.20 ± 0.00 ^A	0.36 ± 0.11 ^B	0.24 ± 0.07 ^{AB}	0.20 ± 0.08 ^A	0.36 ± 0.00 ^C
3	0.32 ± 0.19 ^A	0.32 ± 0.08 ^A	0.35 ± 0.09 ^{AB}	0.54 ± 0.02 ^{BC}	0.62 ± 0.08 ^C
6	0.43 ± 0.21 ^A	1.45 ± 0.22 ^B	1.03 ± 0.49 ^B	1.05 ± 0.17 ^B	0.97 ± 0.18 ^B
12	0.89 ± 0.19 ^{AB}	0.54 ± 0.30 ^A	1.07 ± 0.40 ^{AB}	1.21 ± 0.28 ^B	1.30 ± 0.40 ^C
15	0.95 ± 0.06 ^A	1.26 ± 0.68 ^A	1.51 ± 0.40 ^A	1.15 ± 0.15 ^A	1.12 ± 0.17 ^A
20	0.63 ± 0.15 ^{AB}	0.58 ± 0.11 ^{AB}	0.64 ± 0.27 ^{AB}	0.51 ± 0.09 ^A	0.99 ± 0.40 ^B
Sólidos solubles (°Brix)					
1	9.77 ± 0.61 ^A	10.07 ± 0.81 ^A	10.80 ± 2.75 ^A	11.77 ± 1.50 ^A	9.93 ± 1.08 ^A
3	10.8 ± 1.99 ^A	10.50 ± 2.54 ^A	8.10 ± 1.05 ^A	8.90 ± 1.40 ^A	10.27 ± 1.89 ^A
6	7.13 ± 1.33 ^A	9.30 ± 1.06 ^A	9.87 ± 3.15 ^A	8.00 ± 1.84 ^A	8.37 ± 0.72 ^A
12	6.93 ± 1.46 ^A	8.53 ± 1.62 ^{AB}	11.33 ± 0.51 ^B	10.10 ± 3.13 ^B	8.53 ± 0.42 ^{AB}
15	9.33 ± 1.00 ^A	9.47 ± 0.40 ^A	8.80 ± 0.44 ^A	9.97 ± 2.20 ^A	8.90 ± 1.05 ^A
20	9.83 ± 0.61 ^A	8.60 ± 0.98 ^A	9.30 ± 0.44 ^A	9.57 ± 0.64 ^A	9.23 ± 1.02 ^A

4. DISCUSIÓN

El limoneno es un terpeno que tiene la capacidad de causar disrupción en la membrana celular de bacterias, alterando su funcionalidad y provocar muerte celular (Gupta et al., 2021). Este compuesto interactúa con la membrana incrementando la permeabilidad y favoreciendo la fuga de componentes celulares, con la consecuente muerte bacteriana (Han et al., 2021) Al utilizar una hidroxisal laminar se pueden proteger los compuestos bioactivos de factores ambientales que degradan los compuestos bioactivos. La inmovilización de limoneno ha sido evaluada en hidroxisales laminares de magnesio, logrando potenciar la inhibición contra los patógenos *Escherichia coli* O157:H7 y *Staphylococcus*

aureus (Toro-Chacon et al., 2023), logrando inhibiciones alrededor del 70% comparando con el limoneno solo de 30% por el método de dilución. Este efecto se observó en los recubrimientos con limoneno y con el híbrido, donde la reducción de microorganismos indicadores de P-LHS-Lim tuvieron mayor inhibición. Otros terpenos como el timol han sido inmovilizados en hidroxisales de zinc, que lograron potenciar su efecto antimicrobiano contra *E. coli* y *S. aureus*, mencionando que la intercalación de este compuesto mejora la solubilidad en agua, favoreciendo la interacción con los patógenos, como se demostró en el método de difusión en pozo (Velázquez-Carriles et al., 2022). Este fenómeno de mejoramiento de solubilidad permite que haya dispersión en el recubrimiento, y a su vez, este pueda ser liberado de manera controlada para extender su vida útil, como se demostró en la actividad continua durante el periodo de evaluación en este estudio.

El uso de recubrimientos con pectina en frutos ha demostrado retardar la pérdida de peso debido al efecto de barrera que generan los recubrimientos, retardando la maduración de los frutos como se ha demostrado para jitomates que tuvieron una pérdida de peso del 18.5% a temperatura ambiente durante 15 días (Zekrehiwot et al., 2017). Otros recubrimientos con almidón de tamarindo, concentrado de proteína de suero y nanoemulsiones de tomillo producen una pérdida de peso del 18% (Ghoshal y Shivani, 2022). Por otro lado, los sólidos solubles se ven afectados posiblemente a la baja permeabilidad de oxígeno y producción de etileno, lo que permite que los compuestos relacionados con los sólidos solubles no se oxiden (Gol et al., 2013). Recubrimientos de carboximetil celulosa (CMC) han mostrado que durante 8 días de almacenamiento se observa un incremento en el contenido de sólidos solubles de fresas a comparación del control, posterior a los 8 días el valor disminuye; este fenómeno observado se debe principalmente a la respiración del fruto, como lo declararon Velickova et al. (2013). La acidez de las fresas en refrigeración tuvo un aumento con respecto del tiempo con disminución después del día 15, mientras que en otros estudios la acidez titulable desciende a partir del primer día de muestreo (Gol et al., 2013). Este fenómeno puede deberse a las condiciones de almacenamiento, ya que la temperatura utilizada en este estudio (4°C), puede retardar la actividad enzimática relacionada con compuestos ácidos.

5. CONCLUSIONES

Se logró formular un recubrimiento comestible a base de pectina con híbridos de hidroxisales laminares de zinc con limoneno, y aplicarlos en fresas mantenidas en refrigeración. Se logró reducir el crecimiento de microorganismos indicadores, además de que las propiedades fisicoquímicas se preservaron y potenciaron en algunos casos durante los 20 días de almacenamiento. El aprovechamiento de residuos agroindustriales permite obtener compuestos de interés que pueden ser aplicados en la industria alimentaria, tales como desechos ricos en pectina como las cáscaras de cítricos, que pueden ser aplicados para extender la vida de anaquel de frutos, así como mejorar su inocuidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONAHCyT por el apoyo en la beca de maestría de uno de los autores.

REFERENCIAS

- Andriotis, E. G., Papi, R. M., Paraskevopoulou, A. y Achilias, D. S., (2021). Synthesis of D-Limonene loaded polymeric nanoparticles with enhanced antimicrobial properties for potential application in food packaging. *Nanomaterials*. 11(1), 191. <https://doi.org/10.3390/nano11010191>
- Cybulska, J., Drobek, M., Panek, J., Cruz-Rubio, J. M., Kurzyna-Szklarek, M., Zdunek, A. y Fraç, M., (2022). Changes of pectin structure and microbial community composition in strawberry fruit

- (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) during cold storage. Food Chemistry, 381, 132151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132151>
- Dziedzinska, R., Vasickova, P., Hrdy, J., Slany, M., Babak, V., y Moravkova, M. (2018). Foodborne Bacterial, Viral, and Protozoan Pathogens in Field and Market Strawberries and Environment of Strawberry Farms. Journal of Food Science, 83(12), 3069-3075. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14401>
- Ghoshal, G., y Shivani. (2022). Thyme essential oil nano-emulsion/Tamarind starch/Whey protein concentrate novel edible films for tomato packaging. Food Control 138, 108990. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108990>
- Gol, N. B., Patel, P. R., y Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. Postharvest Biology and Technology, 85, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- Gómez-Aldapa, C.A., Portillo-Torres, L.A., Villagómez-Ibarra, J.R., Rangel-Vargas, E., Téllez-Jurado, A., y Cruz-Gálvez, A.M. (2017). Survival of foodborne bacteria on strawberries and antibacterial activities of *Hibiscus sabdariffa* extracts and chemical sanitizers on strawberries. Journal of Food Safety, 38(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/jfs.12378>
- Gupta, A., Jeyakumar, E., y Lawrence, R. (2021). Strategic approach of multifaceted antibacterial mechanism of limonene traced in *Escherichia coli*. Scientific Reports, 11(1), 13816. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.038>
- Han, Y., Sun, Z. y Chen, W., (2019). Antimicrobial susceptibility and antibacterial Mechanism of Limonene against *Listeria monocytogenes*. Molecules. 25(1), 33. <https://doi.org/10.3390/molecules25010033>
- Han, Y., Chen, W., y Sun, Z. (2021). Antimicrobial activity and mechanism of limonene against *Staphylococcus aureus*. Journal of Food Safety, 41(5), e12918. <https://doi.org/10.1111/jfs.12918>
- Ibáñez, M. D., Sanchez-Ballester, N. M. y Blázquez, M. A., (2020). Encapsulated limonene: A pleasant lemon-like aroma with promising application in the agri-food industry. A Review. Molecules. 25(11), 2598. <https://doi.org/10.3390/molecules25112598>
- InfoAgro, (2022). Producción nacional de berries en México. Disponible en: <https://mexico.infoagro.com/produccion-nacional-de-berries/>
- Kelly, K., Yagiz, Y., Li, Z., Mahnken, G., Borejsza-Wysocki, W., Marshall, M., A. Sims, C., Peres, N. y do Nascimento Nunes, M. C., (2021). Sensory and Physicochemical Quality, Residual Fungicide Levels and Microbial Load in 'Florida Radiance' Strawberries from Different Disease Control Treatments Exposed to Simulated Supply Chain Conditions. Foods. 10(7), 1442. <https://doi.org/10.3390/foods10071442>
- Mendes da Silva, T., Giuggioli, N. R. y Peano, C., (2021). Modelling strawberry quality in a longitudinal study under the marketing concept of branding. Heliyon, 7(2), e06165. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06165>
- Merino, D., Quilez-Molina, A. I., Perotto, G., Bassani, A., Spigno, G., y Athanassiou, A. (2022). A second life for fruit and vegetable waste: a review on bioplastic films and coatings for potential food protection applications. Green Chemistry, 24(12), 4703-4727. <https://doi.org/10.1039/D1GC03904K>
- Ramírez-Padrón, L.C., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V.G., Martínez-Luis, D., Pérez-Fernández, A., (2020). Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 11(4), 815-27. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2049>
- Romero-García, D. M., Velázquez-Carriles, C. A., Gómez, C., Velázquez-Juárez, G., y Silva-Jara, J. M. (2023). Tannic acid-layered hydroxide salt hybrid: assessment of antibiofilm formation and foodborne pathogen growth inhibition. Journal of Food Science and Technology, 60(10), 2659-2669. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05790-4>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, [SIAP], (2022). Panorama Agroalimentario. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Ed. 2022. Pp. 76-78. Disponible en:
<https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view>
- Shahzad-Saleem, M., Akbar-Anjum, M., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., Sardar, H., Khaliq, G., Canan, I., y Ejaz, S. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.051>.
- Shivangi, S., Dorairaj, D., Negi, P. S., y Shetty, N. P. (2021). Development and characterisation of a pectin-based edible film that contains mulberry leaf extract and its bio-active components. *Food Hydrocolloids*, 121, 107046. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107046>
- Toro, L., Silva, J., Velázquez, C., Castorena, A., y Macías, M. (2023). Formación de nanohidróxidos basados en brucita y limoneno: Caracterización y evaluación antimicrobiana. *Perfiles*, 1(29), 46-51. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i29.205>
- Velázquez-Carriles, C., Macías-Rodríguez, M. E., Ramírez-Alvarado, O., Corona-González, R. I., Macías-Lamas, A., García-Vera, I., Cavazos-Garduño, A., Villagrán, Z. y Silva-Jara, J. M., (2022). Nanohybrid of thymol and 2D Simonkolleite enhances inhibition of bacterial growth, biofilm formation, and free radicals. *Molecules*, 27(19), 6161. <https://doi.org/10.3390/molecules27196161>
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., y Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004>
- Zekrehiwot, A., Yetenayet, B.T., Ali, M. (2017). Effects of edible coating materials and stages of maturity at harvest on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) fruits. *African Journal of Agricultural Research*, 12, 550–565. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11648>
- Zhang, H., Montemayor, A., Wimsatt, S., y Titekar, R. (2022). Effect of combination of UV-A light and chitosan-gallic acid coating on microbial safety and quality of fresh strawberries. *FoodControl*, 140, 109106. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109106>.