

Evaluación de la vida útil de gelatina de cacahuate con edulcorantes no-calóricos mediante análisis de riesgo de Weibull

Shelf-life assessment of peanut gelatin with non- caloric sweeteners via Weibull hazard analysis

Alexis Cocoyutla-González¹, Daniela Aroche-Orta¹, Erick M. López-Méndez^{1*}

(1) Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Tecnología de Alimentos, Prolongación Reforma 168, Izúcar de Matamoros, Puebla C.P. 74420, México

*autor de correspondencia (ericklopez.mendez@gmail.com)

Recibido 31/05/2025

Evaluado 16/08/2025

Aceptado 04/09/2025

<https://doi.org/10.65093/aci.v16.n3.2025.35>

RESUMEN

El presente estudio evaluó la vida útil de gelatina de cacahuate (*Arachis hypogaea*) con edulcorantes no calóricos (aspartame/acesulfame K) y sin conservadores. El producto, almacenado a 10 °C, fue analizado microbiológicamente (mesófilos, coliformes, hongos/levaduras), fisicoquímica (humedad, pH, aw) y sensorialmente (color, olor, sabor, textura y aceptación general). La vida útil sensorial se determinó mediante el análisis de riesgo de Weibull, basado en el rechazo de 30 consumidores (criterio: puntuación <7 sobre 9 puntos). Los recuentos microbiológicos estuvieron dentro de los límites normativos hasta el día 8. El producto mostró alta actividad de agua (aw=0.998-0.973) y pH neutro (6.3). La vida útil estimada (50% de rechazo) fue de 6.6-6.8 días ($r^2=0.851$). Los parámetros de Weibull ($\beta=3.41-4.61$, $\alpha=7.34-7.36$ días) confirmaron una tasa de fallo creciente. La vida útil de la gelatina sería de una semana. Una alta aw fue el factor limitante crítico, indicando la necesidad de reformular el producto y asegurar la estabilidad.

Palabras claves: *Arachis hypogaea*, análisis de supervivencia, actividad de agua, deterioro microbiológico

ABSTRACT

This study evaluated the shelf life of peanut jelly (*Arachis hypogaea*) with non-caloric sweeteners (aspartame/acesulfame K) and without preservatives. The product, stored at 10°C, was analyzed microbiologically (mesophiles, coliforms, fungi/yeasts), physicochemically (moisture, pH, aw), and sensorially (color, odor, taste, texture, and overall acceptance). Sensory shelf life was determined using Weibull risk analysis, based on rejection by 30 consumers (criterion: score <7 out of 9 points). Microbiological counts were within regulatory limits until day eight. The product showed high water activity (aw=0.998-0.973) and neutral pH (6.3). The estimated shelf life (50% rejection) was 6.6-6.8 days ($r^2=0.851$). The Weibull parameters ($\beta=3.41-4.61$, $\alpha=7.34-7.36$ days) confirmed an increasing failure rate. The shelf life of the gelatin will be one week. High aw was the critical limiting factor, indicating the need to reformulate the product and ensure stability.

Keywords: *Arachis hypogaea*, survival analysis, water activity, microbiological deterioration

INTRODUCCIÓN

La gelatina, también considerada como un gel (Burey *et al.*, 2009), es un ingrediente funcional clave en la industria alimentaria, obtenido mediante la hidrólisis parcial, ácida o alcalina, del colágeno, una proteína presente en tejidos conectivos de animales (principalmente piel y huesos de cerdo y bovino) (Gómez-Guillén *et al.*, 2011; Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). Se emplea en postres, confitería, productos cárnicos, entre otras debido a sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes (Karim & Bhat, 2009; Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). Su capacidad para formar geles termorreversibles (que se funden al calentar y solidifican al enfriar) la hace ideal para postres a base de agua o leche (Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). En México, se comercializan gelatinas preparadas o en polvo. La gelatina preparada es el resultado de la mezcla de agua o leche, grenetina, azúcares o edulcorantes (acesulfame K, aspartame, sucralosa, Stevia), acidulantes, saborizantes, colorantes y algunas vitaminas (PROFECO, 2018). El aporte nutrimental varía de acuerdo con los ingredientes, una porción de gelatina de 130 gramos puede tener hasta 19 g de azúcar y 3 g en promedio (PROFECO, 2018). El azúcar o glucosa (jarabe) son, probablemente los principales endulzantes en dulces y postres como la gelatina, su reemplazo puede no ser sencillo sin alterar las propiedades sensoriales del producto (Vojvodić Cebin *et al.*, 2024). El uso de edulcorantes (naturales o artificiales) en este tipo de postres no solo modula el perfil sensorial (dulzor, amargor residual), sino que también puede impactar la estabilidad fisicoquímica y microbiológica del producto.

El cacahuate (*Arachis hypogaea* L.), por su parte, es una leguminosa con alto valor nutricional, rica en proteínas, lípidos insaturados y compuestos bioactivos como el resveratrol, fitoesteroles y los polifenoles (Çiftçi & Suna, 2022). El Estado de Puebla se posicionó como el tercer lugar en producción de cacahuate (6,958 ha.) que generaron 9,212 Toneladas (SIAP, 2023). Como muchos cultivos, el cacahuate presenta diversos problemas como, sequías, plagas, altos costos de producción que pueden limitar su comercialización aunado a que la demanda supera la oferta en Puebla. Además, la vida de anaquel de esta leguminosa puede verse limitada por la oxidación de sus grasas y la degradación microbiana, especialmente por un mal control de la humedad. La integración del cacahuate como ingrediente de una gelatina no solo mejorará el sabor, y nutrición de esta, sino que también aportará un valor agregado a la comercialización del cacahuate, así como de su conservación ya que, la gelatina actúa como barrera contra la migración de humedad y la rancidez oxidativa (Farris *et al.*, 2009). La combinación de un ingrediente rico en nutrientes, pero perecedero como el cacahuate, con una matriz de alta actividad de agua y pH neutro, creará un producto intrínsecamente inestable. Esto, unido a la ausencia de azúcares humectantes y la búsqueda de un perfil no calórico, establece la necesidad de determinar con precisión su vida útil para garantizar su viabilidad comercial.

La evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas de un alimento permiten medir gran parte de la calidad de este (Bili & Taoukis, 1998). Las características sensoriales del alimento pueden ser correlacionados con los atributos de calidad en más de un factor de cambio que puede contribuir a la calidad global en diferentes niveles y condiciones de almacenamiento (Bili & Taoukis, 1998). Según Valero *et al.* (2012), la vida de anaquel se puede definir como “el plazo o periodo durante el cual un producto puede almacenarse antes de que un elemento específico del mismo se vuelva inaceptable para su uso o consumo”. El análisis de Weibull para la vida útil de productos lácteos tiene sus bases en trabajos pioneros como el de Schmidt y Bouma (1992), quienes establecieron su utilidad en queso Cottage. La vida útil de productos lácteos como yogurt, bebidas lácteas y quesos se han determinado empleando el análisis de riesgo de Weibull, aceptación/rechazo del consumidor o índices de fallo en cuenta microbiana (Al-Kadamany *et al.*, 2003; Sánchez-González & Oblitas-Cruz, 2017; Sánchez-González & Pérez Cueva, 2016). La aplicación de modelos no lineales como Weibull es esencial para alimentos complejos donde la degradación sigue patrones variables (Peleg, 2006).

Por todo ello, el objetivo del presente trabajo es, evaluar la vida de anaquel de gelatina de cacahuate adicionada con edulcorantes, mediante el modelo de Weibull, analizando su deterioro fisicoquímico y microbiológico para determinar las condiciones óptimas de formulación y almacenamiento que maximicen su estabilidad y calidad sensorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa experimental y de análisis de datos se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, como parte de las actividades de los alumnos de ingeniería en Procesos Alimentarios en la materia de Estandarización de Procesos Alimentarios y proyectos de Integradora.

Materias primas

Para la producción de gelatina de cacahuate se obtuvo cacahuate (*Arachis hypogaea*) del mercado local con adecuadas condiciones de almacenamiento (humedad = 2.5-3%), sin defectos visibles (Norma CODEX STAN 200-1995), con aw ≤ 0.60 y contenido de grasa del 48.5%. Se utilizó leche de vaca cruda (obtenida con productores locales) con especificaciones de acuerdo con la NOM-155-SCFI-2012 (grasa ≥ 30 g/L, proteína ≥ 30 g/L) y se almacenó a 4 °C. También, se empleó canela a granel, grenetina en polvo (290 Bloom; Duché, México), esencia de vainilla (Sayes, México), lecitina de soya (Mi Granero, México), mezcla aspartame/acesulfame K relación 64:36 de grado alimentario (Canderel®, KMD México), vasos de polipropileno No. 4 (Reyma, México) y No. 0 (Primo®, México). Soluciones tampón pH 4.0 y 7.0 (Sigma-Aldrich®, EE. UU.). Agar para métodos estándar, Agar Dextrosa y Papa y agar Bilis y Rojo Violeta de la marca BD Bioxon (México). Agua peptonada (BD Difco, EE. UU.).

Producción de gelatina de cacahuate

La formulación de la gelatina de cacahuate con edulcorantes no-calóricos se elaboró con tres ingredientes principales: Leche (75.4%), Cacahuate (11%) y grenetina en polvo (2.4%) entre otros (mezcla de edulcorantes, lecitina de soya, canela y vainilla). Los pasos para la elaboración de la gelatina de cacahuate fueron: recepción de materia prima, filtración y pasteurización (65 °C/30 min) de la leche, selección del cacahuate, pesado y mezclado de ingredientes, aromatización de la leche, tratamiento térmico para la mezcla final (70 °C/5 min), adición de edulcorante (1.02% a 40 °C), envasado y gelificación (20-25 °C), etiquetado y almacenamiento en frío (4 °C). La leche fue aromatizada, agregando canela en trozos, durante 5 min a 50 °C con agitación constante. Durante el mezclado de ingredientes, se empleó una licuadora (Oster, México) donde se integraron los ingredientes por 2 minutos, excepto el edulcorante. Se realizó el envasado en porciones de 100g y 15g (análisis fisicoquímicos y microbiológicos, así como sensoriales, respectivamente). Se dejó reposar media hora a temperatura ambiente (hasta su gelificación); se colocó una tapa de plástico 5 min antes de terminado el reposo. Los productos fueron almacenados a 10 °C hasta su evaluación.

Diseño experimental

Para establecer la vida útil de la gelatina de cacahuate; Se siguió un diseño básico que consiste en almacenar un lote de muestra destructivas en las condiciones seleccionadas y realizar un muestreo en los tiempos prefijados (Hough & Fiszman, 2005). Se evaluaron parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales de gelatina de cacahuate con edulcorantes no calóricos (mezcla aspartame/acesulfame K) almacenada a 10 °C con un periodo máximo proyectado de 20 días de análisis. Se consideraron 6 muestreos del producto (500 g/muestreo). La cantidad de muestra utilizada, para la evaluación del producto, se determinó de acuerdo con el tipo de análisis y con el número de consumidores (30) y la porción a evaluar (15 g). También, se estableció el límite máximo permitido de los descriptores de deterioro (análisis microbiológico y sensorial), que consideren a la gelatina de cacahuate como apta para su consumo.

Análisis fisicoquímico

Para la determinación de los análisis fisicoquímicos, se evaluó la humedad, actividad de agua (aw) y pH. El contenido de humedad se determinó mediante el método de estufa a 105 °C hasta peso constante (NMX-F-083-1986). El equipo que se utilizó fue una estufa Boekel (modelo 107800, USA) La actividad de agua (aw) se determinó por el método del punto de rocío, de acuerdo con la norma internacional ISO 18787:2017. Las mediciones se obtuvieron de un analizador de aw previamente calibrado (Aqualab Series 4TE, Decagon Devices, USA), mantenido a 25 °C. La calibración del equipo fue verificada utilizando soluciones salinas estándar de

cloruro de potasio (KCl) con un valor de *aw* certificado de 0.984 a 25 °C. Para la determinación del pH, las muestras fueron atemperadas, diluidas y agitadas dentro de un vaso de precipitado de 50 ml. En la determinación, del pH, se utilizó un potenciómetro marca Conductronic (pH 120, México). Los análisis fisicoquímicos se realizaron por triplicado.

Evaluación microbiológica

Se determinaron los análisis microbiológicos de acuerdo con la NOM-093-SSA1-1994, la cual establece límites básicos máximos permisibles de mesófilos aerobios (100,000 UFC/g) y coliformes totales (< 100 UFC/g) para gelatinas de leche. Para la determinación de hongos y levaduras se realizó siguiendo la metodología establecida en la norma NOM-111-SSA1-1994; como límite permisible, se determinó un máximo de 150 UFC/g.

Análisis sensorial

Se realizó una evaluación sensorial con 30 panelistas no entrenados, ambos géneros y diferentes edades (entre 21-32 años). Este grupo etario fue seleccionado por representar a un consumidor adulto joven, que sería el segmento objetivo principal para productos con edulcorantes no calóricos, y por ser considerado una población con autonomía de consumo y sin restricciones para el consumo de edulcorantes utilizados en la gelatina de cacahuate (aspartame/acesulfame K). Para este tipo de productos, la percepción del consumidor promedio puede ser más relevante que la de expertos (ISO 13299:2016). Los consumidores habituales de gelatina pueden reflejar mejor la aceptación en el mercado (Álvarez García, 2016; Ramírez-Navajas, 2012). Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos para evaluar los aspectos de color, olor, sabor y textura de una muestra de 15 g de gelatina de cacahuate. En la escala hedónica utilizada, la puntuación 1 significaba "me disgusta demasiado" y 9 "me gusta demasiado". La evaluación sensorial se realizaría en los días 1, 4, 8, 11, 15 y 18 posterior a la elaboración de la gelatina de cacahuate y la evaluación microbiológica; en un horario de 10-12 h. Para la evaluación, los consumidores retiraban la tapa del envase de la gelatina para observar el aspecto de esta y los posibles cambios en color y olor. Posteriormente, se evaluaría el sabor y textura. Una puntuación menor a 7 fue empleada como límite para indicar que el producto ya no era aceptado.

El estudio sensorial se llevó a cabo de acuerdo con las directrices éticas para la evaluación con seres humanos. Todos los participantes fueron informados verbalmente sobre la naturaleza del estudio, que su participación sería voluntaria, anónima y que podrían retirarse en cualquier momento sin consecuencia alguna. Se obtuvo el consentimiento informado verbal de todos los panelistas antes de su participación.

Determinación de la vida útil

De los resultados obtenidos de la evaluación sensorial y, considerando un valor promedio como aceptación general, se determinó la vida útil del producto mediante el análisis de riesgos de Weibull debido a la mayor probabilidad de ser rechazadas. El cálculo de riesgo de Weibull fue introducido por Gacula y Singh (1984), derivado del análisis de supervivencia (Garitta *et al.*, 2005). Se elaboró una tabla (Tabla 2) a partir del número de rechazos del producto, la función de distribución acumulativa o función de fallo $F(t)$ mediante rangos medianos (Median Rank; Rasane *et al.*, 2015) (ecuación 1), valores del inverso de la probabilidad de supervivencia $S(t)$ (ecuación 2) con los valores de riesgo (H) según la ecuación 3 y riesgo acumulado (ΣH = suma de todos los valores H por cada rechazo en ese momento) (Cardelli & Labuza, 2001; Palazón *et al.*, 2009; Rasane *et al.*, 2015).

$$F(t) \approx \frac{R - 0.3}{n + 0.4} \quad (1)$$

Donde, R = número de rechazo, n = número total de rechazos.

$$S(t) = 1 - F(t) \rightarrow \frac{1}{S(t)} = \frac{1}{1 - F(t)} \quad (2)$$

$$H(t) = 100/k = -\ln[1 - F(t)] = \ln \frac{1}{1 - F(t)} \quad (3)$$

Considerando a k como el rango inverso de fallos.

De acuerdo con Klein & Moeschberger (2003), la fórmula para asegurar el ajuste de una distribución de Weibull y estimar parámetros es la ecuación 4.

$$\ln H(t) = -\beta \ln \alpha + \beta \ln t \quad (4)$$

Donde $H(t)$ es el riesgo acumulado; t es el tiempo; α es un parámetro de escala y β es un parámetro de forma. La ecuación 4 es una rectificación lineal muy utilizada en ingeniería mecánica (Tobias & Trindade, 1995, citado por Álvarez García, 2016). Los especialistas en industrias de alimentos la ajustaron (ver ecuación 5) para estimación del tiempo:

$$\ln t = \ln \alpha + \frac{1}{\beta} \ln H(t) \quad (5)$$

El factor de forma (β), que mide la variación de la variable y con respecto a x , se determinó como el inverso de la pendiente mientras que el factor α , el cual mide que tan dispersos son los datos entre sí, se calculó como la función exponente de la ordenada al origen. Si el valor de β se encuentra entre $2 < \beta < 4$ se asegura predicciones del tiempo de vida de aquello más precisas (Cardelli & Labuza, 2001; García Mogollón *et al.*, 2010). El criterio para el final de la vida útil, generalmente se fija como el tiempo necesario para que el 50% de los panelistas no entrenados calificaran las muestras como inaceptables. Probabilidad que corresponde a un riesgo acumulado de 69.3% (Keklik *et al.*, 2017; Palazón *et al.*, 2009).

Finalmente, el tiempo de vida útil se determinó de acuerdo con la función media definida por Griful (2001) (ver ecuación 6).

$$E(t) = \alpha \Gamma \left[1 + \frac{1}{\beta} \right] \quad (6)$$

Donde Γ es la función gamma.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron y representaron gráficamente utilizando Microsoft Excel y los resultados fisicoquímicos se establecieron como media \pm desviación estándar en resultados obtenidos por triplicado. El análisis de correlación, intervalos de confianza (t de student) así como el análisis de supervivencia; por los métodos: mínimos cuadrados y máxima verosimilitud, se realizaron con el software Excel y se corroboraron con Minitab 19, (Minitab Inc., USA) con un nivel de significación del 95 %. La bondad de ajuste del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación (r^2) y la prueba de Anderson-Darling. Los análisis de regresión y el ajuste del modelo de Weibull se realizaron con el software Minitab 19 (Minitab Inc., USA) empleando los métodos de mínimos cuadrados y máxima verosimilitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis microbiológicos y fisicoquímicos

Antes de evaluar los aspectos fisicoquímicos y sensoriales de la gelatina de cacahuate con edulcorante, las muestras del producto se evaluaron en cuanto a los análisis microbiológicos propuestos.

Los resultados obtenidos de los análisis de fisicoquímicos y microbiológicos realizados a la gelatina de cacahuate, con edulcorantes no calóricos, se muestran en la Tabla 1.

De los resultados del análisis microbiológico (ver Tabla 1), no se detectó crecimiento de coliformes totales en un periodo de 8 días de análisis de las muestras almacenadas a 10°C. Esto indica las buenas prácticas de manufactura y ausencia de contaminación fecal. Para el caso del crecimiento de hongos y levaduras, en el día 1 no se detecta crecimiento de estos; para los análisis de los días 4 y 8 se detectó crecimiento en placa (0.31 a 1.48 log UFC/g de muestra) sin un crecimiento visible en la gelatina. Para mesófilos aerobios, se observó el mayor crecimiento de microorganismos desde el día 1 hasta el día 8 en el rango (1.69-4.48 log UFC/g de muestra). No se rebasan los límites máximos permitidos por la normatividad nacional correspondiente. Los datos obtenidos en estos trabajos son correspondientes con otros trabajos (Freitas et al., 2009; Río-Morales et al., 2023).

Tabla 1: Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico de la gelatina de cacahuate con edulcorantes no-calóricos durante el periodo de almacenamiento.

Parámetro/Periodo de análisis (días)	Análisis fisicoquímico		
	1	4	8
Humedad (%)	72.63±0.82	72.68±0.72	71.62±1.10
pH	6.29±0.01	6.31±0.01	6.31±0.01
aw	0.9978±0.0000	0.9950±0.0001	0.9733±0.0008
Análisis microbiológico (log UFC/g de muestra)			
Coliformes totales	ND	ND	ND
Mesófilos aerobios	1.69	2.30	4.48
Hongos y levaduras	ND	0.31	1.48

ND= No detectado. UFC= Unidades Formadoras de colonias.

Con estos resultados, los integrantes del proyecto consideraron, de acuerdo con directrices éticas para la evaluación con seres humanos, que las muestras de gelatina de cacahuate con edulcorantes, almacenadas a 10°C, eran aptas para el consumo humano para los días 1, 4 y 8. Posteriormente, para el día 11, ya no se continuaría con los análisis debido a que, se detectaron algunas muestras de gelatina con crecimiento de hongo visible apenas perceptible. Similares decisiones se han considerado por otros autores (Hough et al., 2003; Rasane et al., 2015) donde se evaluó la vida útil de alimentos mediante el análisis de riesgo de Weibull

El resultado de humedad (>70%) obtenido para gelatina de cacahuate es mayor a los obtenidos por productos comerciales u otros trabajos de investigación. El contenido de humedad depende mucho del producto en cuestión (Rasane et al., 2015). En el trabajo de Sivaraj et al. (2025), sobre gelatina de leche con trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*), se encontraron valores de humedad ≤62.3%. En dicho trabajo, se realizaron diversas formulaciones donde se consideraron endulzantes que retienen agua (azúcar, jarabe de dátiles, miel y azúcar de palma). En la gelatina de cacahuate hay ausencia de azúcares humectantes; los edulcorantes no calóricos no disminuyen la aw del sistema. Por otra parte, la leche empleada en la formulación de la gelatina de cacahuate también aporta una gran cantidad de humedad a la formulación (~87%). Como se menciona en otros trabajos (Amertaningtyas et al., 2024), la grenetina retiene una gran cantidad de agua, en su matriz proteica, pero, en este caso, no es suficiente para retener suficiente agua libre. Será necesario ajustar los valores de la humedad final para mejorar la estabilidad y vida de aquella de la gelatina de cacahuate con edulcorantes.

De acuerdo con la formulación de la gelatina de cacahuate, el pH obtenido en los primeros días del análisis (≈pH=6.3) es correspondiente con los ingredientes que se usan (cacahuate y leche) y, con el uso de edulcorantes que no acidifican o fermentan el producto de manera significativa. Por lo tanto, la gelatina de cacahuate es un producto de “baja acidez” (pH>4.6). Será necesario ajustar la aw de agua en un valor máximo de 0.85 o menos para limitar el riesgo de crecimiento de microorganismos (FDA, 2021). Sin embargo, el rango de la actividad de agua (aw) registrada fue de 0.9733 a 0.9978; valores de un alimento de “alta humedad” (Rifna et al., 2022) que propician el crecimiento de microorganismos y hacen “muy perecedera” la gelatina de cacahuate.

Si bien la grenetina forma una red tridimensional que inmoviliza físicamente el agua, este no altera significativamente la energía de enlace de las moléculas de agua, por lo que la aw se mantiene cercana a 1.0 (Burey et al., 2009). Un alimento gelificado a valores bajos de pH resultará en un gel más suave y fino y, con

compuestos funcionales estables, pero, un producto gelificado a mayor pH (<4.6) producirá un gel más estable y agradable al consumidor, en lo que respecta al sabor y color del producto (Bahar *et al.*, 2021). Reducir la actividad de agua junto con la combinación de factores extrínsecos e intrínsecos debe ser una práctica habitual de la industria alimentaria (Tapia *et al.*, 2008).

Considerando los resultados de este estudio preliminar, para lograr un producto con mayor estabilidad y seguro al consumidor, se requieren y se proyectan reformulaciones que introduzcan agentes que puedan reducir la actividad del agua (*aw*) y, que sean compatibles con el perfil de edulcorantes no calóricos, preferentemente. Esto podría incluir el uso de maltodextrina, polioles (polidextrosa, sorbitol, jarabe de maltitol, inulina, manitol entre otros) o fibra soluble, para reducir la *aw* sin añadir dulzor significativo ni calorías (Rodríguez Pérez, 2014; Wong *et al.*, 2022). El sorbitol es un poliol que puede reducir la actividad de agua en productos lácteos (Badola *et al.*, 2017). Además, la aplicación de tratamientos de conservación adicionales (como el uso de envases inteligentes y de conservadores naturales como nisina) sería necesaria para extender la vida útil (Oshima *et al.*, 2014) en estudios posteriores de optimización.

Análisis sensorial

En la evaluación sensorial de gelatina de cacahuate, las puntuaciones obtenidas por el panel de consumidores fueron consideradas como confiables para estimar la calidad del producto. Los datos de aceptación general, por parte de los consumidores, fueron empleados para determinar los cambios en el periodo de almacenaje, mediante el análisis de riesgo Weibull así como el indicador para evaluar el rechazo del producto al considerar que se relacionan con los otros atributos (Rasane *et al.*, 2015).

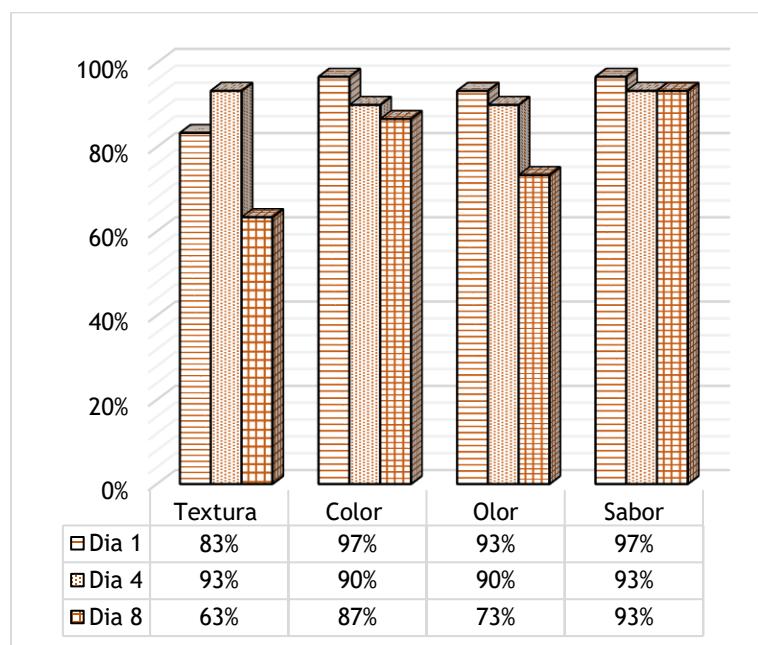


Fig. 1: Porcentaje de aceptación de la gelatina de cacahuate por atributo durante los días de evaluación sensorial.

La evaluación sensorial se llevó a cabo en los días 1, 4 y 8 de almacenamiento. Sin embargo, tras observar una disminución significativa en la aceptabilidad y un incremento en los recuentos microbianos, el panel sensorial fue suspendido después de la evaluación del día 8 por considerar que podría haber una contaminación fuera de los límites. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos (1=Me desagrada mucho, 9=Me gusta mucho) para evaluar los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptación general. La Figura 1 muestra los resultados del análisis sensorial como el porcentaje de aceptación por los consumidores que evaluaron la gelatina de cacahuate con edulcorantes y le otorgaron una calificación de 7 a 9 puntos (“me gusta moderadamente” hasta “me gusta

demasiado") por cada día de análisis. De acuerdo con la Figura 1, la gelatina de cacahuate con edulcorantes fue aceptada en más de un 80% de un total de 30 consumidores habituales; sobre todo para los atributos de color y sabor para todos los días del análisis sensorial. En el caso de los atributos de textura y olor, para el día 8, la aceptación de dicho producto se redujo de un 93% a un 63% y 73%, respectivamente. Aun así la aceptación del consumidor fue mayor del 60%.

Un mismo producto, en un mismo día, puede ser seleccionado o rechazado por sus características físicas y sensoriales y, de esto último, dependerá de la interacción directa con el producto (Hough & Fiszman, 2005). Para el día 8, un porcentaje menor o igual al 40% de los consumidores encuestados reconocen que la textura y el olor del producto se encuentra por debajo de "me gusta moderadamente" (calificación ≤ 6). Según Masmoudi *et al.* (2010); la textura es la imagen general del aspecto sensorial de un producto. Estos autores establecen en su trabajo que, un mayor contenido de azúcar produce gelatinas más dulces, pero, aparentemente, el sabor dulce no fue del agrado de los consumidores, quienes prefirieron gelatinas con menor contenido de azúcar.

Análisis de supervivencia

El análisis de supervivencia aplicado mediante el método Weibull se basa en determinar los riesgos de vida útil de un alimento a partir de la aceptación o rechazo del consumidor más que del deterioro del producto (Rasane *et al.*, 2015). El análisis de riesgos de Weibull ha sido de mucha utilidad al estimar la vida útil de alimentos al considerar datos censurados y modelos paramétricos y no paramétricos (Hough *et al.*, 2003).

De acuerdo con los datos obtenidos de "aceptación general" de la evaluación sensorial, el rechazo de la gelatina de cacahuate con edulcorantes por parte de los consumidores fue a partir del día 4 (2 rechazos) y se incrementa con el paso del tiempo; a los 8 días se tuvo 6 rechazos. Estos datos fueron concentrados en la Tabla 2 junto con el análisis de riesgo acumulativo.

Tabla 2: Clasificación de riesgo de Weibull para datos de aceptabilidad sensorial general en muestras de gelatina de cacahuate con edulcorantes.

Rango inverso de fallos (k) ^a	Riesgo $H(t)$ ^b	Riesgo acumulado (ΣH) ^c
6	16.67	16.67
5	20.00	36.67
4	25.00	61.67
3	33.33	95.00
2	50.00	145.00
1	100.00	245.00

^aLos rechazos otorgados por los panelistas durante la evaluación sensorial se clasifican según el tiempo (días de almacenamiento).

^b $H = \text{Valor de riesgo} = 100/k$

^c $\Sigma H = \text{suma de todos los valores } H \text{ obtenidos para cada rechazo en ese momento.}$

Mediante el programa Minitab 19, se determinó el coeficiente de correlación para determinar el mejor ajuste entre cuatro distribuciones Weibull, log-normal, exponencial y normal donde se obtuvo la aproximación gráfica del mejor ajuste (Figura 2).

La distribución Weibull presentó el mejor ajuste para los datos obtenidos en muestras de gelatina de cacahuate con edulcorantes ($r^2=0.851$) contra otros modelos evaluados. De acuerdo con el método de cálculo de mínimos cuadrados, el valor del parámetro de forma fue de $\beta= 3.41$ (Intervalo de Confianza, IC al 95% = 1.78-86.96); valor mayor de 1 lo que confirma que el riesgo es creciente, durante el almacenamiento, con una alta tasa inicial de falla. El valor del parámetro de escala fue de $\alpha= 7.34$ (IC 95% = 6.44-8.34).

Los datos obtenidos se pueden ajustar satisfactoriamente según el modelo de Weibull utilizando las ecuaciones 5 y 6 como se muestra a continuación,

$$\ln t = 1.9938 + 0.2932 \ln H(t)$$

$$E(t) = 7.34 \Gamma * \left[1 + \frac{1}{3.41} \right]$$

$$E(t) = 6.60 \text{ días}$$

Donde t es el tiempo en días y H el valor de riesgo. La vida útil sensorial se estimó en 6.60 días (IC 95%: 5.8-7.5 días). El intervalo de confianza se calculó considerando la incertidumbre en el parámetro de escala (α), proporcionando un rango más estable y práctico para la toma de decisiones, dado el amplio intervalo del parámetro de forma (β) asociado al tamaño muestral limitado. Considerando el método de máxima verosimilitud, mediante el software Minitab 19, la vida útil se calculó en 6.80 días (IC 95%: 5.54-8.34 días) y los parámetros de escala y forma fueron, $\alpha = 7.36$ (IC 95% = 6.14-8.82) y $\beta = 4.61$ (IC 95% = 2.22-9.56), respectivamente. La vida media calculada es aquella en el que el 50% de los consumidores (riesgo acumulado = 69.3%) encontraría el producto inaceptable (Rasane *et al.*, 2015). En la Figura 3, se muestran los resultados obtenidos por los métodos aplicados para el cálculo de vida útil de la gelatina de cacahuate con edulcorantes.

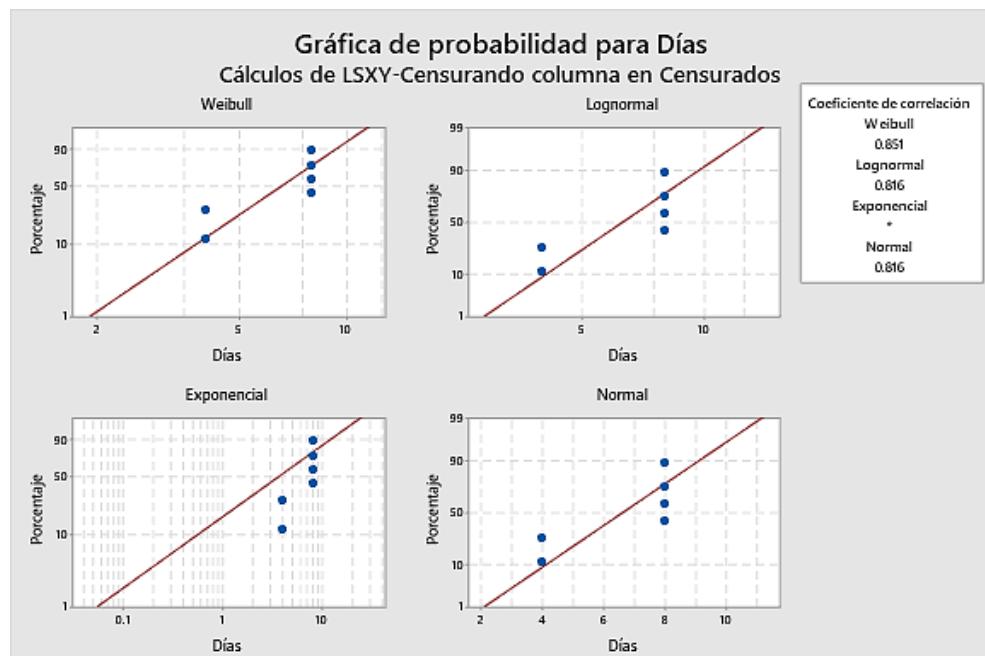


Fig 2: Aproximación gráfica del mejor ajuste entre las cuatro distribuciones evaluadas para gelatina de cacahuate con edulcorantes.

Los parámetros del modelo de Weibull (α y β) fueron estimados mediante regresión lineal por mínimos cuadrados sobre la ecuación linealizada del modelo. Este método es intuitivo y fácil de implementar. Si bien la máxima verosimilitud es el método preferido para datos censurados a la derecha, es decir, aquellos panelistas que no habían rechazado el producto al final del período de estudio (Cruz *et al.*, 2010; Kamleh *et al.*, 2012), el método de mínimos cuadrados ha demostrado ser robusto y proporciona estimaciones comparables en estudios de vida útil sensorial (Duyvesteyn *et al.*, 2001). El ajuste de los modelos se verificó mediante el estadístico de Anderson-Darling y el coeficiente de correlación. La consistencia de los resultados obtenidos fue verificada mediante comparación con el software Minitab 19, obteniendo valores de parámetros similares.

La robustez del modelo de Weibull para predecir la vida útil sensorial de productos lácteos ha sido consistentemente validada en la literatura. Estudios en productos lácteos como yogurts (Al-Kadamany *et al.*, 2003; Cruz *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2013) y quesos (Schmidt & Bouma, 1992; Kamleh *et al.*, 2012; Sánchez-González & Oblitas-Cruz, 2017; Jaeger Mori, 2023), que emplean métodos, tanto de estimación por máxima verosimilitud y mínimos cuadrados; dichos trabajos reportan factores de forma (β) superiores a 1, indicando una tasa de rechazo creciente en el tiempo, fenómeno también observado en el presente trabajo ($\beta = 3.41$). Asimismo, la vida útil media calculada mediante la función gamma, metodología aplicada de manera análoga en la predicción de la vida útil de leche pasteurizada (García Mogollón *et al.*, 2010; Hough *et al.*, 2003), resultó en 6.59 días para la gelatina de cacahuate.

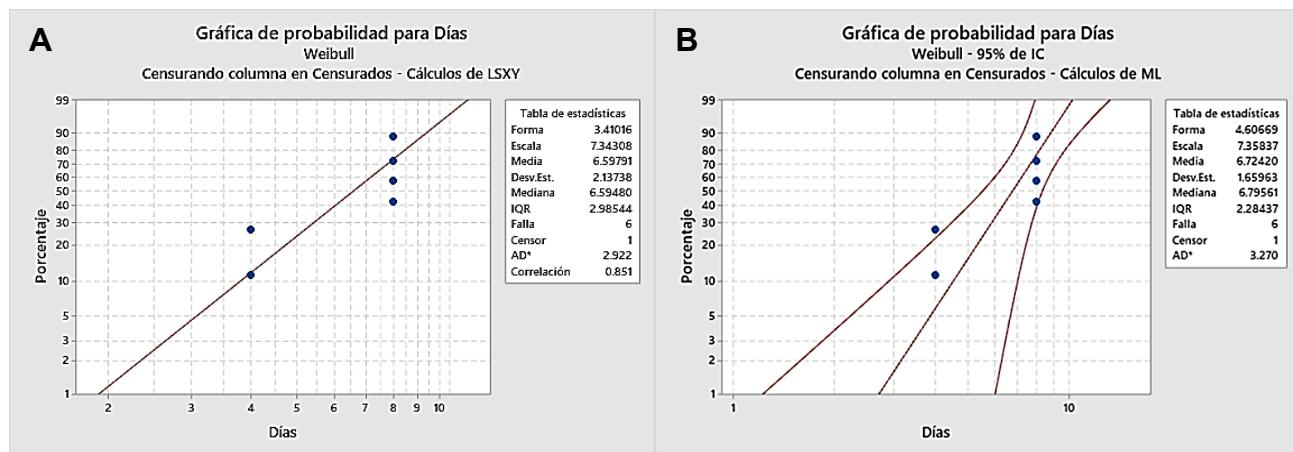


Fig. 3: Porcentaje de rechazos acumulados en función del tiempo de almacenamiento a 10°C de la gelatina de cacahuate con edulcorantes. A=método de mínimos cuadrados, B= método de máxima verosimilitud.

El análisis de supervivencia Weibull es aceptado por los consumidores al tomar decisiones que forma parte de su consumo, por lo que representa la experiencia del consumidor frente a un producto haciendo más confiable los resultados. La principal desventaja de este método es que requiere de softwares estadísticos especializados (Minitab o R) y un número considerable de consumidores y panel de evaluadores entrenados cuando el número de factores a evaluar son diversos o se requiere una respuesta más específica (Garitta *et al.*, 2025).

CONCLUSIONES

La elaboración de una gelatina de cacahuate con edulcorantes no calóricos representó un buen desafío para los alumnos/investigadores que buscan ofrecer una alternativa de este tipo de productos a la región mixteca. De acuerdo con los resultados obtenidos, la gelatina mantendría una calidad aceptable y segura para el consumo durante un periodo de 6 días si esta se almacena a 10°C. El modelo propuesto de Weibull presentó un buen ajuste de los datos ($r^2=0.851$) confirmando, de acuerdo con sus parámetros ($\beta>1$), que la tasa de rechazo aumentará con el tiempo de almacenamiento. La limitada vida útil de la gelatina puede atribuirse a diversos factores como la alta actividad de agua y un pH neutro que permiten crear condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y posterior rechazo sensorial. Los resultados de este estudio diagnóstico proveen la línea base y la metodología necesaria para establecer la fase de optimización del producto. La actual formulación de la gelatina requerirá de modificaciones en su composición para alcanzar una estabilidad comercial viable; modificaciones que tiene que ver con el uso de agentes humectantes no calóricos o la aplicación correcta de tecnologías de obstáculos considerando la preservación del perfil sensorial y bajo en calorías. La aplicación del análisis de riesgo de Weibull como herramienta predictiva y objetiva en la determinación de la vida útil sensorial de alimentos perecederos proporciona una metodología sólida para la toma de decisiones en el desarrollo y optimización de nuevos productos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento a los técnicos de los laboratorios y talleres de la carrera de Alimentos de la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros. Así mismo, el más sincero agradecimiento para los participantes en la evaluación sensorial.

REFERENCIAS

- Al-Kadamany, E., Khattar, M., Haddad, T. & Toufeili, I. (2003). Estimation of shelf-life of concentrated yogurt by monitoring selected microbiological and physicochemical changes during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 36 (4), 407-414. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00018-5)
- Álvarez García, G.A. (2016). *Determinación del tiempo de vida en anaquel de pizzas en cadena de frío por el método de Weibull* [Tesis de Ingeniería, Universidad de San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/6c9443f5-67ed-430c-b847-2067aa59d0be>
- Amertaningtyas, D., Kurniawan, W., Awwaly, K.U.A., Evanuarini, H., Widystuti, E.S. & Masyithoh, D. (2024). Quality of Color, Moisture Content, Water Activity and pH Marshmallow Gelatin Candy with Addition of Skim Milk. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 19 (3), 179-188. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2024.019.03.4>
- Badola, R., Panjagari, N.R. Rrb, S., Singh, A.K. & Shaik, A.H. (2017). *Effect of Selected Humectants as Water Activity Modifiers on the Quality of Model Khoa System*. <https://agsr.fao.org/search/en/providers/122648/records/6474afc2f2e6fe92b36325e0>
- Bahar, A., Basukiwardojo, M.M.S., Kusumawati, N., Muslim, S. & Auliya, A.S. (2021). Effect of Milk on Physico-Chemical and Functional of Herbal Jelly Drink. *International Joint Conference on Science and Engineering 2021 (IJCSE 2021)*, 34-39. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/ijcse-21/125966530>
- Bili, M. & Taoukis, P.S. (1998). Evaluation of shelf life of flavored dehydrated products using accelerated shelf life testing and the Weibull Hazard sensory analysis. En E. T. Contis, C.-T. Ho, C. J. Mussinan, T. H. Parliment, F. Shahidi, & A. M. Spanier (Eds.), *Developments in Food Science* (Vol. 40, pp. 627-637). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(98\)80083-6](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(98)80083-6)
- Burey, P., Bhandari, B.R., Rutgers, R.P.G., Halley, P.J. & Torley, P.J. (2009). Confectionery Gels: A Review on Formulation, Rheological and Structural Aspects. *International Journal of Food Properties*, 12 (1), 176-210. <https://doi.org/10.1080/10942910802223404>
- Cardelli, C. & Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 34 (5), 273-278. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>
- Çiftçi, S. & Suna, G. (2022). Functional components of peanuts (*Arachis Hypogaea L.*) and health benefits: A review. *Future Foods*, 5, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100140>
- Codex Alimentarius Commission. (1995). *Norma para el Maní*. Disponible en: <https://www.fao.org/faohq-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/>
- Cruz, A. G., Cavalcanti, R.N., Guerreiro, L.M.R., Sant'Ana, A.S., Nogueira, L.C., Oliveira, C.A.F., et al. (2013). Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. *Journal of Food Engineering*, 114 (3), 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.018>
- Cruz, A.G., Walter, E.H.M., Cadena, R.S., Faria, J.A.F., Bolini, H.M.A., Pinheiro, H.P., et al. (2010). Survival analysis methodology to predict the shelf-life of probiotic flavored yogurt. *Food Research International*, 43 (5), 1444-1448. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.028>

- Duyvesteyn, W.S., Shimon, E. & Labuza, T. P. (2001). Determination of the End of Shelf-life for Milk using Weibull Hazard Method. *LWT - Food Science and Technology*, 34 (3), 143-148. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0736>
- Farris, S., Schaich, K.M., Liu, L., Piergiovanni, L. & Yam, K.L. (2009). Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 20 (8), 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.04.003>
- FDA (2021). FDA 21 CFR Part 113 - *Thermally Processed Low-Acid Foods*. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-113>
- Freitas, R., Nero, L.A. & Carvalho, A.F. (2009). Technical note: Enumeration of mesophilic aerobes in milk: Evaluation of standard official protocols and Petrifilm aerobic count plates. *Journal of Dairy Science*, 92 (7), 3069-3073. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1705>
- García Mogollón, C., Cury Regno, K.I. & Dussán Sarria, S. (2010). Evaluación poscosecha y estimación de vida útil de guayaba fresca utilizando el modelo de Weibull. *Acta Agronómica*, 59 (3), 347-355. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000300010&lng=en&nrm=iso
- Gacula, M.C. & Singh, J. (1984). *Statistical methods in food and consumer research*. Academic Press Inc., Orlando. p. 505. <https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780080918310/statistical-methods-in-food-and-consumer-research>
- Garitta, L., Gómez, G. & Curia A.V. (2005). *Metodología de estadística de supervivencia*. En Hough, G., & Fiszman, S. (Ed.), Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. (pp. 53-69). CYTED. <https://plataformaestphuando.com/wp-content/uploads/2023/02/LIBRO-ESTIMACION-DE-LA-VIDA-UTIL-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS.pdf>
- Gómez-Guillén, M.C., Giménez, B., López-Caballero, M.E. & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25 (8), 1813-1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>
- Hough, G. & Fiszman, S. (2005). Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. *Programa CYTED. Madrid, España*. <https://plataformaestphuando.com/wp-content/uploads/2023/02/LIBRO-ESTIMACION-DE-LA-VIDA-UTIL-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS.pdf>
- Hough, G., Langohr, K., Gómez, G. & Curia, A. (2003). Survival Analysis Applied to Sensory Shelf Life of Foods. *Journal of Food Science*, 68 (1), 359-362. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14165.x>
- ISO - International Organization for Standardization (2016). ISO 13299:2016. *Sensory analysis – Methodology – General guidance for establishing a sensory profile*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:13299:ed-2:v1:en>
- ISO - International Organization for Standardization (2017). ISO 18787-2017. *Productos alimenticios. Determinación de la actividad del agua*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:18787:ed-1:v1:en>
- Jaeger Mori, A.C. (2023). *Evaluación de la vida útil sensorial del yogur artesanal sustentado en el modelo estadístico de riesgo para el análisis de supervivencia de Weibull* [Tesis de Ingeniería]. Universidad de Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6143>
- Kamleh, R., Toufeili, I., Ajib, R., Kanso, B. & Haddad, J. (2012). Estimation of the shelf-life of halloumi cheese using survival analysis. *Czech Journal of Food Sciences*, 30 (6), 512-519. <https://doi.org/10.17221/233/2011-CJFS>
- Karim, A.A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: Properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*, 23 (3), 563-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002>
- Keklik, N.M., Işıkli, N.D. & Sur, E.B. (2017). Estimation of the shelf life of pezik pickles using Weibull hazard analysis. *Food Science and Technology*, 37, 125-130. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.33216>

Klein, J.P. & Moeschberger, M.L. (2003). Censoring and Truncation. En J. P. Klein & M. L. Moeschberger (Eds.), *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data* (pp. 63-90). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-21645-6_3

Masmoudi, M., Besbes, S., Blecker, C. & Attia, H. (2010). Preparation and characterization of jellies with reduced sugar content from date (*Phoenix dactylifera* L.) and lemon (*Citrus limon* L.) by-products. *Fruits*, 65 (1), 21-29. <https://www.cambridge.org/core/journals/fruits/article/preparation-and-characterization-of-jellies-with-reduced-sugar-content-from-date-phoenix-dactylifera-l-and-lemon-citrus-limon-l-byproducts/2E1AEC88A8BEA08A9EA0F27C11B1CE3D>

NMX-F-083-1986. Dirección General de Normas. (1986). Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios. (Norma mexicana).

NOM-093-SSA1-humedad-1994. Dirección General de Normas. (1994). Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Secretaría de Salud. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/138744/nom_093_SS1-1994.pdf

NOM-111-SSA1-1994. Dirección General de Normas. (1994). Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex13521.pdf>

NOM-155-SCFI-2012. Dirección General de Normas. (2012). Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex174232.pdf>

Oshima, S., Hirano, A., Kamikado, H., Nishimura, J., Kawai, Y. & Saito, T. (2014). Nisin A extends the shelf life of high-fat chilled dairy dessert, a milk-based pudding. *Journal of Applied Microbiology*, 116 (5), 1218-1228. <https://doi.org/10.1111/jam.12454>

Palazón, M.A., Pérez-Conesa, D., Abellán, P., Ros, G., Romero, F. & Vidal, M.L. (2009). Determination of shelf-life of homogenized apple-based beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model. *LWT - Food Science and Technology*, 42 (1), 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.03.011>

Peleg, M. (2006). *Advanced Quantitative Microbiology for Foods and Biosystems: Models for Predicting Growth and Inactivation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420005370>

PROFECO - Procuraduría Federal del Consumidor (2018). Estudio de calidad: Gelatinas. *Revista del Consumidor*, 12, 35-43. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418058/Estudio_de_Calidad_Gelatinas_.pdf

Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Colombia. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas-2/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor/links/67b70bfc8311ce680c6b2b20/Analisis-sensorial-pruebas-orientadas-al-consumidor.pdf

Rasane, P., Jha, A. & Sharma, N. (2015). Predictive modelling for shelf-life determination of nutricereal based fermented baby food. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (8), 5003-5011. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1545-x>

Rifna, E.J., Dwivedi, M. & Chauhan, O. P. (2022). Role of Water Activity in Food Preservation. En O. P. Chauhan (Ed.), *Advances in Food Chemistry: Food Components, Processing and Preservation* (pp. 39-64). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_2

Río-Morales, M.N. del, Valdés, M., Frías-Chirino, A. & Bejerano-Salgado, D. (2023). Durabilidad de una leche fermentada simbiótica elaborada a partir de una pasta de frijol caupí. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33 (2), 11-16. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/686>

Rodríguez Pérez, M. (2014). *Efecto de los polioles en la nutrición y sus aplicaciones en la industria alimentaria* [Tesis de Grado, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/7179>

- Sánchez-González, J.A. & Oblitas-Cruz, J.F. (2017). Application of Weibull analysis and artificial neural networks to predict the useful life of the vacuum-packed soft cheese. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 82, 53-59. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n82a07>
- Sánchez-González, J.A. & Pérez Cueva, J.A. (2016). Vida útil sensorial del queso mantecoso por pruebas aceleradas. *Scientia Agropecuaria*, 7 (3), 215-222. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.08>
- Schmidt, K. & Bouma, J. (1992). Estimating Shelf-Life of Cottage Cheese Using Hazard Analysis. *Journal of Dairy Science*, 75 (11), 2922-2927. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78054-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78054-0)
- SIAP - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: Cacahuate-Año Agrícola*. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agrizona/
- Sivaraj, D., Ezhil Kumaran, K., Govindarajan, N., & Pandiselvam, R. (2025). Studies on the impact of sweetener and viscosity variation on the textur profile, sensory, and functional properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) milk jelly. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06346-4>
- Tapia, M.S., Alzamora, S.M. & Chirife, J. (2008). Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability: As a Hurdle in Food Preservation. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 239-271. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.ch10>
- Tobias, P.A. & Trindade, D. (1995). *Applied Reliability*, Third Edition. CRC Press. https://archive.org/details/appliedreliability0000tobi_a0n7/page/n5/mode/2up
- Valero, A., Carrasco, E. & García-Gimeno, R. M. (2012). Principles and methodologies for the determination of shelf-life in foods. *Trends in vital food and control engineering*, 1, 3-42. <https://agsis.fao.org/search/en/providers/125066/records/674885a37625988a371cfa39>
- Vojvodić Cebin, A., Bunić, M., Mandura Jarić, A., Šeremet, D. & Komes, D. (2024). Physicochemical and Sensory Stability Evaluation of Gummy Candies Fortified with Mountain Germander Extract and Prebiotics. *Polymers*, 16 (2), 259. <https://doi.org/10.3390/polym16020259>
- Wong, K.Y., Thoo, Y.Y. Tan, C.P. & Siow, L.F. (2022). Moisture absorption behavior and thermal properties of sucrose replacer mixture containing inulin or polydextrose. *Applied Food Research*, 2 (1), 100089. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100089>