

ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA SALSA CASERA POR MEDIO DE PRUEBAS DE VIDA ACELERADA

ESTIMATION OF THE USEFUL LIFE OF A HOMEMADE SAUCE BY MEANS OF ACCELERATED LIFE TESTS

Rojas Tarango Edgardo¹, Rodríguez Medina Manuel Arnoldo², Tarango Hernández Luz Elena³, Zorrilla Briones Francisco⁴, Terrazas Mata Luz Elena⁵

¹Ingeniero Mecatrónico. Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Estudiante de la maestría en Ingeniería Administrativa, edgardo.rojast@gmail.com, 6566310245, CP 32674.

² Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Estudiante de la maestría en Ingeniería Administrativa, manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com, 6566310245, CP 32674.

³ Maestro en Ciencias en Ingeniería Administrativa, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Estudiante de la maestría en Ingeniería Administrativa, ltarango@itcj.edu.mx, 6566310245, CP 32674.

⁴ Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial, fzorrilla@itcj.edu.mx. ⁵. lterrazas@itcj.edu.mx, 6566310245, CP 32674.

⁵ Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Estudiante de la maestría en Ingeniería Administrativa, lterrazas@itcj.edu.mx, 6566310245, CP 32674.

Resumen – Los estudios de determinación de la vida útil son esenciales en el sector alimentario, se recurre a ellos para lanzar un nuevo producto y evaluar cómo afectan los cambios en los procesos de reformulación o producción en la estabilidad de alimentos que son para consumo. La vida útil del producto depende de la naturaleza del alimento en sí, pero también depende de otros factores [1]. Los cuales pueden ser: ambientales, humedad, temperatura de exposición, del proceso térmico al que se somete y de la calidad de las materias primas, entre otros. Esta investigación se enfocó en encontrar las variables óptimas para la conservación de una salsa casera para pizza, tratando de evitar el uso de conservadores químicos que alteren su sabor característico, siendo éste el sello distintivo de la empresa. Se utilizaron pruebas de vida acelerada para determinar el tiempo de vida del producto. Para este caso se utilizaron 3 diferentes contenedores (plástico, vidrio y aluminio) y se realizaron pruebas a 3 diferentes temperaturas, 40, 50 y 60 °C.

Palabras Clave: *Pruebas de Vida Acelerada, Tiempo de vida útil, Salsa para pizza.*

Abstract. Studies to determine food shelf life are indispensable in the food industry. They are indispensable when a new or improved product is to be launched, as they evaluate how reformulation or manufacturing process modifications affect the integrity of edible products. The shelf life of a product depends on the nature of the product itself, but other aspects can also have a significant influence [1]. Amongst others, the temperature and humidity to which the products are exposed during the manufacturing process are prominent. This research was focused on finding the optimal manufacturing conditions that would bestow a homemade pizza sauce the longest possible shelf life, avoiding the use of chemical preservatives that would change its trademark flavor. Accelerated life testing was employed to determine the shelf life of the product. Three different

types of containers (plastic, glass, and aluminum) were tested, as well as three different temperatures (40, 50, and 60 °C).

Key words – *Accelerated Life Testing, Useful Lifetime, Pizza Sauce*

INTRODUCCIÓN

Un producto alimenticio es un sistema fisicoquímico y biológico activo, por lo que la calidad del mismo es un estado dinámico que tiende a degradarse con el paso del tiempo. Existe un tiempo determinado después de haber sido producido, en el que el producto mantiene en un nivel requerido de sus propiedades sensoriales y de seguridad, bajo ciertas condiciones de almacenamiento. Este constituye el período de vida útil o de anaquel del alimento [2][3]. La vida útil del producto depende de la naturaleza del alimento en sí, pero también depende de otros factores [1]. El efecto de estos factores se manifiesta como el cambio en las cualidades del alimento que evitan su venta: cambios de sabor, color, textura o pérdida de nutrientes [4]. El tiempo de vida útil se puede estimar mediante varios métodos, pueden tomarse valores reportados en la literatura especializada de alimentos y bajo condiciones similares al producto de interés; se pueden monitorear las quejas de los consumidores para orientar los posibles valores de vida útil; se pueden evaluar atributos de calidad del alimento que varían durante la vida útil en anaquel o mediante pruebas aceleradas [3]. Uno de los métodos más directos para estimar la vida útil es llevado a cabo una simulación de prueba de vida, el cual puede consumir tiempo y recursos. Por el contrario, las pruebas de aceleración de vida suelen ser estables y confiables para productos que son de larga vida útil como lo son productos enlatados. Las variables usadas para este tiempo de pruebas incluyen sabor, pH, pérdida o ganancia de humedad, crecimiento de bacterias, color, reacciones químicas específicas y pruebas sensoriales. Las variables de aceleración incluyen

temperatura, humedad, químicos, pH, oxígeno y radiación solar [5].

A los productos que se les hace un proceso de escaldado, salado, secado, congelación, entre otros, su estructura interna cambia, provocando daño en las membranas. Así, las paredes de la célula se rompen y las sustancias que antes estaban separadas, se ponen en contacto y reaccionan. Estos procesos pueden activarse y producir sabores, colores o texturas indeseadas [6].

Una empresa de la localidad cuenta con su propia receta de salsa y desea estimar el tiempo que tiene para disponer de ella, se realizaron pruebas piloto donde observó, que a temperatura ambiente dicha salsa tiene un tiempo de vida útil de 2 días, después de este plazo la salsa demostró características de putrefacción (cambio de color, consistencia, aroma, sabor), mientras que en refrigeración demostró los mismos rasgos después de 8 días, entonces se requiere saber cuánto tiempo se tiene exactamente para disponer del producto y usarlo sin temor en el proceso de producción de pizzas considerando que estará al aire libre y a temperatura ambiente en la cocina.

La ingeniería en confiabilidad es la disciplina que estudia y asegura que un producto será confiable cuando se opera de manera específica, o sea, la función es evitar fallas. Las fallas son inevitables, pero si se adopta la Ingeniería de Confiabilidad y se implementan acciones estructuradas y factibles para lograr aumentar la confiabilidad y disminuir los efectos de falla [7].

Este artículo muestra el análisis que se realizó a una salsa para pizza, cuya manufactura es de una receta original. Las hipótesis planteadas fueron qué; mediante pruebas de vida acelerada es posible determinar la función de densidad de una salsa y se desea conocer si el efecto del comportamiento de la salsa varía dependiendo del contenedor en el que se encuentre, que puede ser de plástico, vidrio o aluminio.

Las pruebas de confiabilidad están concebidas para la implementación a través de un plan, diseño, pruebas y análisis. Debe planearse la confiabilidad para el producto en particular en cuestión, es decir, la función prevista, las condiciones específicas y el periodo específico de tiempo que debe adherirse o superar los requisitos de diseño pertinentes [5].



Figura. 1 Ingeniería en Confiabilidad [8]

Existen motivos básicos para establecer la confiabilidad en un producto o servicio. En el futuro cercano, solo permanecerán negocios o compañías que conozcan y sean capaces de controlar la confiabilidad de sus productos. La complejidad de los productos necesita componentes más robustos y confiables, los clientes y el público serán más conscientes de la confiabilidad, la mayoría de las compañías está introduciendo prácticas de Ingeniería de Confiabilidad para estar a la cabeza de la competencia y una de las mejores estrategias de mercado es promocionar que sus productos son confiables para aumentar ventas (Rivera, 2015) [9].

Según Malvais [10], la vida de anaquel es una herramienta usada para conocer el tiempo que un producto conserve sus atributos de calidad, sus niveles nutritivos y organolépticos indispensables a la hora de ser adquiridos por el consumidor. Lo ideal es que los alimentos conserven sus características, hasta antes de la fecha de caducidad. En este sentido, un estudio de estabilidad acelerada y estabilidad en tiempo real, puede considerarse una herramienta eficaz al momento de analizar y estudiar las características, para la aceptabilidad de los alimentos a lo largo de su vida útil. La variable que más afecta al deterioro es la temperatura; los métodos que aceleran el deterioro por efecto de ésta, se basan en el cumplimiento de la ley de Arrhenius; la ecuación para calcular el efecto de la temperatura sobre la vida media es:

$$t_s = t_0 * e^{-\frac{E_A}{R} * \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_s} \right]} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde: t_s es el tiempo de vida de anaquel a la temperatura T_s , t_0 es el tiempo a la temperatura T_0 , R es la constante de los gases ideales y E_A es la energía de activación para la reacción de deterioro (Ocampo, 2003) [11]. También menciona que una buena manera de cuantificar el efecto de la temperatura sobre la calidad de un alimento es por medio de los gráficos de vida de anaquel, que consisten en utilizar el logaritmo natural del tiempo de vida de anaquel contra la temperatura o a la inversa. Con ellas se pueden obtener la energía de activación, E_A y el parámetro Q_{10} , el cual se define con:

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida Anaquel a Temperatura } (T)}{\text{Vida Anaquel a Temperatura } (T + 10)} \quad \text{Ec.2}$$

Factor de aceleración es un método que se ha creado para la obtención de datos del tiempo de falla a un paso acelerado. Se define como la relación de vida en nivel de estrés S y el nivel de estrés S' . Matemáticamente se describe como:

$$A_f = \frac{t_p}{t'_p} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde: A_f es el factor de aceleración, p es la probabilidad de falla específica y t_p (t'_p) el percentil de distribución de vida en S . El uso de éste factor es calcular un percentil de vida en un nivel de estrés, bajo del percentil observado a un nivel alto de estrés. También expresa el número equivalente de horas de prueba, a bajo estrés a una hora de nivel alto de estrés. El uso de un factor de aceleración supone que las distribuciones de vida, tienen la misma forma en los dos niveles [12].

Nelson [5] menciona que la prueba de vida acelerada, ALT (por sus siglas en inglés *Accelerated Life Testing*) el estrés y sus niveles, se deben elegir de manera que aumenten su modo de falla bajo las condiciones de uso, pero no introducir los modos de falla que nunca ocurrirán bajo estas condiciones de operación.

Escobar [13] dice que para lograr un buen estudio de ALT se deben considerar los algunos factores: a) Selección de la distribución de vida del producto, sistema o componente. b) Selección de la relación vida-estrés c) Estimación del Parámetro. Las ALT consisten en una distribución de vida que describen al producto bajo diferentes niveles de estrés y un modelo de vida de estrés que cuantifica la manera en cómo la distribución cambia. Las distribuciones más usuales para pruebas de vida son: exponencial, normal, lognormal, Weibull y Exponencial (Gumbel).

Un plan de prueba detallado es en general diseñado antes de llevar a cabo una ALT. Éste requiere determinar el tipo de estrés, método de aplicación del estrés, los niveles de estrés, el número de unidades a ser probadas y un modelo aplicable de ALT que relacione los tiempos de falla a condiciones aceleradas a aquellos a condiciones normales. Con el propósito de determinar el tipo de estrés a ser aplicado en ALT es importante entender la falla potencial de los componentes y las causas de tales fallas. Esto en general es basado en conocimiento de ingeniería de los materiales de los componentes, función y los estreses que inducen tal falla [14].

Nelson [5] menciona que un buen plan de prueba debe ser robusto, multipropósito y proveer de estimaciones precisas. Tales planes consisten de tres o cuatro niveles de prueba igualmente espaciados con asignaciones desiguales.

García y Molina [15] establecieron la vida útil de una mayonesa, se estimó mediante pruebas aceleradas, utilizando el índice de peróxidos como indicador de deterioro. El producto se almacenó a 21 °C, 35 °C y 45 °C durante 210, 90 y 42 días, respectivamente. Realizaron como mínimo seis muestreos para cada temperatura y los resultados obtenidos se utilizaron para definir la cinética de esta reacción de deterioro. La cinética de la reacción fue de cero y las constantes cinéticas encontradas fueron (0,31, 0,173 y 0,365) meqO₂/kg·d, en orden creciente de temperatura. Con estas constantes específicas de reacción

y el modelo de Arrhenius se obtuvo un valor de energía de activación de 80 960 J/mol, la cual se encuentra dentro del ámbito de las reacciones de oxidación de lípidos. Y, por último, se obtuvo una relación para estimar la vida útil de la mayonesa, cuya ecuación general es Vida útil = 10(2,907-0,036·T).

García y Chacón [16] realizaron pruebas a una pasta de tomate que se almacenó a 40°C, 45°C y 50° C durante 110 días, 120 días y 42 días, respectivamente. Estimaron la vida útil empleando la degradación de color como indicador de deterioro. Se realizaron como mínimo seis muestreos para cada temperatura y los resultados obtenidos se utilizaron para definir la cinética de esta reacción de deterioro. La cinética de la reacción encontrada era de orden cero y las constantes cinéticas obtenidas fueron 0,031 -1, 0,064 día-1, y 0,097 día-1, en orden creciente de temperatura. Con estas velocidades de reacción y el modelo de Arrhenius, se obtuvo además un valor de la energía de activación de 95680 J/ mol. Por último, se obtuvo una relación para estimar la vida útil de la pasta de tomate, cuya ecuación general es Vida útil= 10 (4,259-0,053). La pendiente en cada una de ellas representa la constante de reacción o deterioro del color.

Barboza y Zoitza [17] teniendo como objetivo una bebida achocolatada comercial le realizaron un estudio para determinar el tiempo de vida útil, la aceleración fue por temperatura. Usaron el modelo de Arrhenius, tomaron una muestra de 60 litros almacenados a 8°C y 14°C y se fueron evaluando periódicamente, utilizando técnicas de análisis sensorial de tipo afectivas y descriptivas, con 9 expertos. Se midió las propiedades físico-químicas (pH, Densidad y Brix) y de forma simultánea se detectaron coliformes, mesófilos, aerobios, mohos y levaduras. Los datos de procesaron en Excel®, aplicando coeficientes de correlación de Pearson y regresión. Se determinó que el aroma ácido es la variable de deterioro y su vida útil a 8° C es de 14 días mientras que a 14° C es de 5 días. Se realizó una propuesta de modelo matemático para estimar el tiempo de vida útil.

Paternina [18] realizaron una investigación para evaluar la vida útil de una pasta de ajonjolí azucarada, y le agregaron de plasma sanguíneo de bovino. Se realizaron pruebas aceleradas con ayuda del factor Q10 y empleando el índice de peróxidos como indicador de deterioro. Para ello se evaluaron dos formulaciones con diferentes contenidos de pasta de ajonjolí (70% y 80%), almidón (29% y 19%) y el mismo contenido en plasma (1%). Ambas formulaciones se almacenaron a 15 °C, 25 °C y 35 °C, durante 80 días. Se realizaron tres muestreos para cada temperatura y los resultados obtenidos se utilizaron para definir la cinética de esta reacción de deterioro, la cual se asumió como de orden cero. El tratamiento elaborado con el 70% de pasta de ajonjolí presentó mejores características de vida útil con tiempos de 144 y 108 días de almacenamiento a 15°C y 25°C, respectivamente.

Meléndez [19] realizó un estudio del proceso de elaboración de tortillas de maíz, donde se emplean diferentes conservadores químicos, como el propionato de sodio y algunos acidificantes para incrementar la vida de anaquel de la tortilla de maíz. En México, al no haber una regulación bien definida sobre la adición de conservadores químicos, no existe protección hacia el consumidor. De aquí que esta investigación propone la adición de aceite esencial de tomillo como bio-conservador. Realizó dos experimentos, uno usando el aceite esencial de tomillo y otro con propionato de sodio. Utilizó el modelo de Arrhenius y calculó la vida útil de la tortilla de maíz adicionada con aceite de tomillo a 21 °C y se encontró que fue de 104.3356 horas, mientras que la otra obtuvo una vida de 75.3300 horas. Mediante el factor de aceleración, se obtuvo un mejor desempeño del aceite esencial de tomillo como conservador orgánico, en contraste con el propionato de sodio. En conclusión, no solo se mejora la inocuidad alimentaria del producto en cuanto a su vida de anaquel, sino que el aceite esencial de tomillo puede reemplazar a un conservador cancerígeno en la preparación de tortillas de maíz.

DESARROLLO

Descripción del producto:

El producto es una salsa casera utilizada para la preparación de pizza y productos similares, siendo ésta una receta original, tanto de ingredientes como del método de preparación, el cual fue desarrollado mediante prueba y error hasta que se logró el sabor, color y consistencia deseados. Una vez los ingredientes y métodos fueron definidos se pudo comenzar con la planeación de su estimación de vida. Los componentes de las salsas son: Tomates, aceite de oliva, cebolla morada, ajo, orégano seco, sal, albaca y pimienta.

Tipo y Método de Investigación:

Esta investigación será de carácter experimental, es un estudio es longitudinal, porque se requiere recabar datos después de cierto tiempo de aplicar estrés al producto, de esta forma el estudio permite comparar determinadas características como el pH, color, aroma y como la variable de tiempo y temperatura afectan al producto de diferentes maneras. Para reducir el riesgo de contaminación y reducir el ruido en las pruebas, se consideró lo siguiente: a) Cada vez que se prepare el producto debe ser con los mismos instrumentos. b) La limpieza de los instrumentos debe ser adecuada y eficiente para no afectar las siguientes muestras y c) Considerar tiempos de cocción, temperatura y madurez de los ingredientes y que sean iguales para cada preparación. En la Tabla 1, se concentran las etapas de la investigación.

Tabla 1: Descripción de la Etapas de Investigación

Etapa	Descripción
Tipo de prueba y diseño	Elegir modelo de prueba de vida, basado en qué tipo de estrés se le aplicara al producto.
Definición de parámetros	Definir método estadístico para realizar pruebas (tiempo de la prueba, cantidades, ambiente donde se realizó, equipo a utilizar)
Pruebas Experimentales:	Iniciar con las pruebas experimentales, una vez definidos los parámetros
Análisis de datos:	Realizar modelos estadísticos, análisis y revisión de su comportamiento
Resultados y Conclusiones:	Estimar tiempos de falla y definir tiempo de vida

El material y equipo utilizados para esta investigación se dividen en tres tipos, los de limpieza, los de cocina para preparación de producto y los de laboratorio para realizar pruebas, estos últimos incluyen computadora personal con software para análisis estadísticos. Para Limpieza se usaron: Toallas de papel higiénico para cocina de algodón, Toallas húmedas anti-bacterial marca pacífica®, Jabón líquido lavatrastos marca Kirkland®, Esponja para trastos marca Scotch Brite®, Limpiador líquido para cocinas Mr. Músculo marca SC Johnson®, Clorox triple acción®. En la cocina: Utensilios de acero inoxidable (cuchillos y cucharas), Tabla de polietileno HDPE®, Guantes de nitrilo desechables (verde), Sartenes de calidad profesional marca kirkland®. En el laboratorio: Computadora personal Lenovo G50-70®, Minitab®, Medidor de pH y temperatura modelo PH-991®, Báscula digital marca DigiWeigh modelo DW-81®, Incubadora Exo Terra modelo PT2445®.

Para la preparación del equipo se realiza la calibración del medidor de pH, siguiendo las instrucciones del proveedor, son las siguientes:

- Remoje el electrodo pH del medidor en agua destilada y seque utilizando una toalla de papel de algodón
- Encienda el medidor de pH
- Sumerja el electrodo pH en la solución mezcla de pH 6.86 (incluido) y agite de manera gentil hasta que la pantalla *display* deje de cambiar de dígitos
- Regule el valor dado utilizando el desarmador (incluido) hasta que el valor en la pantalla muestre “6.86”
- Remoje el electrodo pH con agua destilada y seque utilizando una toalla de papel de algodón.
- Sumerja el electrodo en la solución pH 9.18, y agite gentilmente hasta que el valor se estabilice y esta marque “9.18”
- La calibración de su instrumento medidor de pH está completa

Desarrollo de la Prueba

Para iniciar con las pruebas de vida acelerada, se enciende la incubadora para que alcance la temperatura deseada de la prueba, estas temperaturas son: 40, 50 y 60°C para cada una de las pruebas diferentes. Se vierte en los recipientes a utilizar con 50 gr de producto, se mide el pH inicial y se

colocan dentro de la incubadora. Se les realizan las lecturas de pH cada hora y se registra el progreso en la degradación. La prueba termina cuando el nivel de pH este por encima del nivel ácido permitido para considerar que el producto aun es comestible, sin poner en riesgo la salud del consumidor, esto será cuando el nivel de pH este por debajo de 4.2.

Para observar un comportamiento de degradación natural en el producto, se le realizaron pruebas de pH a temperatura ambiente normal, de la cual se presenta Tabla 2 de comportamiento, utilizando los tres tipos de envase previamente mencionados.

Tabla 2. Resultados de pH a una Temperatura Ambiente de 27 Grados Centígrados

Tiempo de exposición (hrs)	Contenedores		
	pH de Plástico	pH de Vidrio	pH de Aluminio
0	4.57	4.57	4.57
1	4.56	4.57	4.56
2	4.55	4.56	4.55
3	4.55	4.55	4.54
4	4.54	4.54	4.53
5	4.53	4.53	4.52
6	4.52	4.53	4.51
7	4.51	4.52	4.50
8	4.51	4.51	4.49
9	4.50	4.51	4.49

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos al utilizar recipiente de plástico, para cada temperatura se pusieron dos muestras (A y B).

Tabla 3. Resultados Usando Contenedor de Plástico

RECIPIENTE DE PLÁSTICO	TEMPERATURAS						
	Tiempo de exposición (hrs)	40		50		60	
		A	B	A	B	A	B
0	4.57	4.57	4.56	4.56	4.58	4.58	
1	4.55	4.55	4.54	4.54	4.53	4.52	
2	4.53	4.54	4.51	4.51	4.48	4.49	
3	4.52	4.51	4.48	4.49	4.42	4.42	
4	4.5	4.49	4.45	4.46	4.37	4.36	
5	4.48	4.48	4.42	4.43	4.29	4.29	
6	4.46	4.47	4.38	4.38	4.2	4.21	
7	4.45	4.46	4.34	4.34	4.11	4.12	
8	4.43	4.43	4.3	4.31	4.0	4.02	
9	4.4	4.42	4.27	4.28			
10	4.37	4.39	4.23	4.23			
11	4.35	4.36	4.19	4.2			
12	4.33	4.33	4.14	4.15			
13	4.29	4.29	4.08	4.1			
14	4.28	4.27					
15	4.25	4.26					
16	4.22	4.23					

Los datos numéricos son de pH. Por cuestiones de espacio, solo muestra esta tabla con los resultados del recipiente de plástico, pero también se obtuvieron para los recipientes de vidrio y aluminio.

En la Figura 2 se presenta los análisis para verificación de normalidad de la información arrojada de las pruebas de pH, en los tres diferentes contenedores mencionados anteriormente (plástico, vidrio aluminio) para una temperatura de 40°C; En los tres casos no se puede

rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población distribuida normalmente, se puede destacar que los datos siguen la línea de distribución ajustada, ya que las distribuciones normales tienen ubicarse cerca de la línea recta a lo largo de ésta.

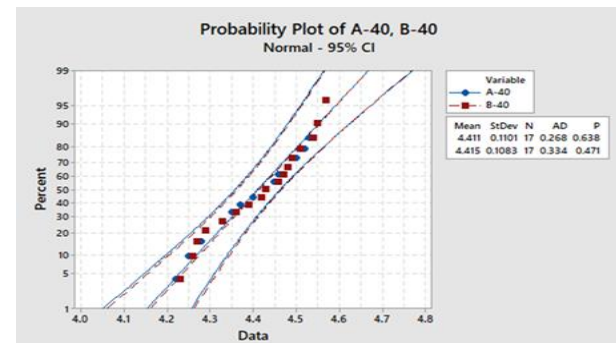


Figura 2. Prueba de Normalidad para Contenedor de Plástico a 40 grados.

En la Tabla 4 se presentan los valores $p > 0.05$ de todas las pruebas, se puede observar que asimismo no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos provengan de una población normalmente distribuida.

Tabla 4. Resultado de P-Value de las Todas las Pruebas

TEMPERATURAS °C	CONTENEDORES		
	Plástico	Aluminio	Vidrio
40	A = 0.638	A = 0.596	A = 0.735
	B = 0.471	B = 0.509	B = 0.866
50	A = 0.865	A = 0.913	A = 0.805
	B = 0.767	B = 0.609	B = 0.760
60	A = 0.860	A = 0.796	A = 0.960
	B = 0.883	B = 0.862	B = 0.950

Luego de conocer que el comportamiento de los datos que tienden a la normalidad, se prosiguió a buscar a qué distribución se vida se ajustan mejor, como se puede observar en la Figura 3. Los resultados modelados muestran que las distribuciones a las que mejor se ajustan los datos son a las distribuciones Weibull, Lognormal y Normal, para la temperatura de 40°C en los tres diferentes contenedores. De la misma forma sucede con el resto de las evaluaciones con las diferentes temperaturas.

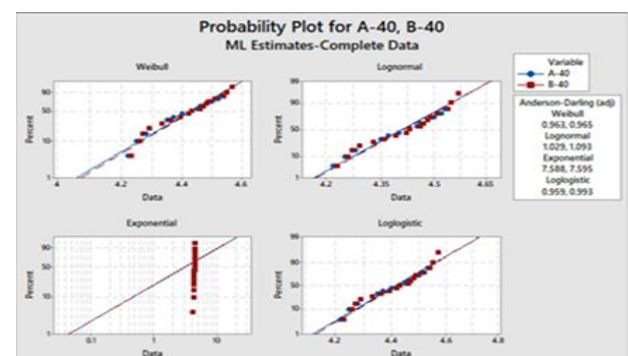


Figura 3. Comprobación de Comportamiento Weibull para 40 grados contenedor de plástico.

Utilizando el modelo de Arrhenius-Weibull se encontraron los parámetros de forma y escala para las diferentes temperaturas con los tres tipos de contenedor, en la Figura 4 se observa un ejemplo de las gráficas de los diferentes recipientes a la temperatura de 40°C, esto se utilizó para determinar la relación que existe entre la vida calculada a estrés normal y el estrés acelerado.

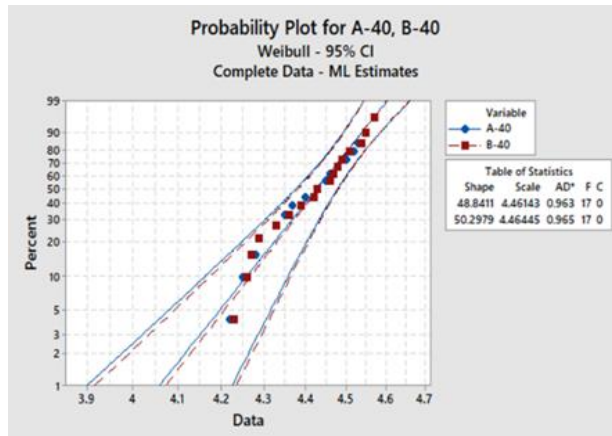


Figura 4. Gráfico para Obtención de Parámetros de Forma y Escala para 40 grados contenedor de plástico.

Una vez realizado el análisis se puede determinar que el comportamiento del producto (salsa casera para pizza) no es afectado de manera significativa por el envase. Se puede decir que también en cada una de las temperaturas registradas (50 y 60 °C), se ajustan a una distribución Weibull.

Una vez analizados los datos y verificando que el comportamiento es similar para los tres casos, se puede utilizar cualquier temperatura para poder realizar los cálculos de la vida útil, en este caso se decidió utilizar los resultados obtenidos en el contenedor de plástico.

El modelo de degradación utilizado es Arrhenius vida-temperatura ya que utiliza el factor estrés temperatura, se considera los resultados del comportamiento a las tres temperaturas en el contenedor de plástico, que se muestran en la figura 5.

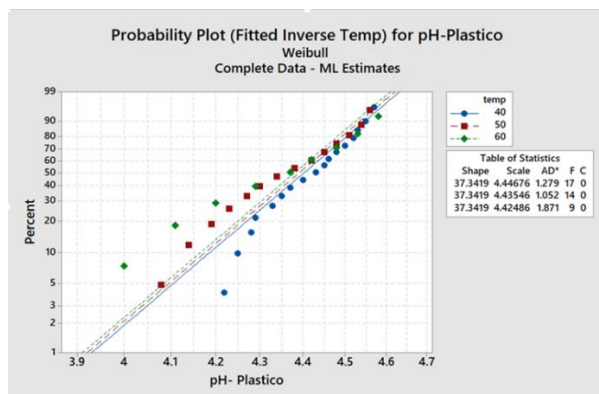


Figura 5. Gráfica de Modelo para Plástico

Utilizando el modelo de Arrhenius-weibull se encontraron los parámetros de Forma y escala, de esta manera ya se pudo calcular el factor de aceleración para el producto utilizando la ecuación:

$$R(t) = Ae^{\frac{E_A}{KT}}$$

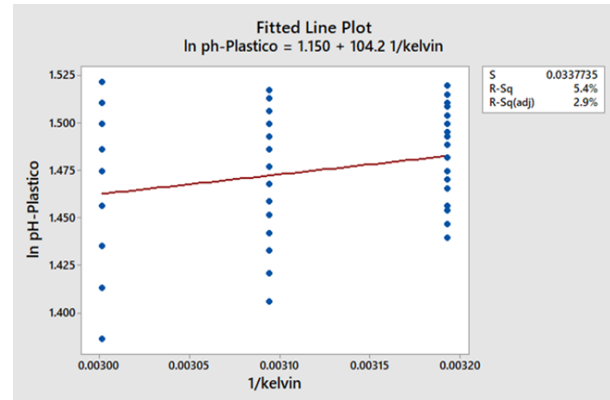


Figura 6. Datos de Logaritmo y Temperaturas a Grados Kelvin

Con estos datos se pudo determinar que el factor de aceleración FA, es de 1.0361, lo que indica que el producto se degrada en un aproximado de 1 unidad de pH por hora. Con esto y teniendo la información previa de que el rango de pH aceptable para el consumo no puede ser menor a 4.2, se llega a la conclusión de que el tiempo de vida del producto es de un aproximado de 30 y 33 horas a temperatura normal.

En Figura 6 muestra una gráfica sencilla de tiempo contra pH, donde se puede ver un ejemplo de degradación a diferentes temperaturas, observándose que la línea de temperatura ambiente (26°C) muestra una degradación lineal, en este caso si se llegara a cubrir los datos por un periodo más extenso de tiempo, se podrá asumir que esta línea estará llegando al límite permitido de pH después de 30 horas

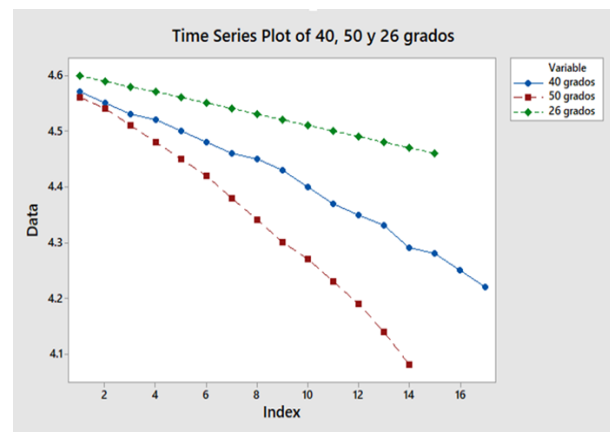


Figura 7. Gráfica de Tiempo Contra pH

En la Figura 7 describe el tiempo contra el pH, donde se puede apreciar un ejemplo de degradación a diferentes temperaturas, se aprecia que la línea de temperatura de ambiente (26°) muestra una degradación lineal (color verde), en este caso si se midiera en comportamiento los datos por un periodo más largo de tiempo, se puede asumir que esta línea estará llegando al límite permitido de pH después de 30 horas.

CONCLUSIONES

Dentro de esta investigación se plantearon dos hipótesis con el objetivo de encontrar la respuesta a una situación establecida, a continuación, se encuentran los resultados para las hipótesis propuestas. Con las pruebas de vida acelerada efectivamente fue posible encontrar y determinar la vida útil de un producto nuevo. Por lo que se puede asegurar que se puede realizar el mismo proceso para lograr determinar la vida de anaquel de productos que estén planeados a salir al mercado, con la seguridad de saber el tiempo que se dispone para su consumo.

Con respecto a la segunda hipótesis: Conocer si el efecto del comportamiento de la salsa varía dependiendo de su contenedor. Se pudo observar desde la toma de datos, que el comportamiento del producto en diferentes contenedores (materiales diferentes) no fue factor de cambio drástico para su comportamiento, con lo que se puede concluir que en este caso cualquiera que sea el tipo de contenedor utilizado para el producto comestible será adecuado para su desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Mercado-Flores J., López-Orozco M., Martínez-Soto G. y Abraham-Juárez M. R. (2016). Estimación de la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas en fresa entera en bolsa de polietileno y pulpa de fresa congelada. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, No.1 (2016) 636-640. Obtenido de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/6/110.pdf>.

[2] Casp, A. y April, J. (1999). *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

[3] Kuntz, L. (1991). *Accelerated Shelf Life Testing*. Nueva York: Weeks Publishing Co.

[4] Potter Norman N. (1978). *La ciencia de los alimentos* (2a ed.) Editorial Edutex, S. A. México.

[5] Nelson Wayne B. (2004). *Accelerated Testing Statistical models, test plans, and data analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

[6] Labuza, T.P. & Schmidt, M.K.(1985). Accelerated shelf-life dating of foods. *Food Technology*, 39(9): 57-134

[7] Yang, Guangbin (2007). *Life Cycle Reliability Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

[8] Pacheco Ortiz Josué (2016) *Importancia e Impacto de la Ingeniería de Confiabilidad*. Tecnológico de Orizaba. Maestría en Ingeniería Administrativa. Artículo Obtenido de: <https://www.gestiopolis.com/importancia-e-impacto-la-ingenieria-confiabilidad/>

[9] Posada Rivera Briant Gustavo (2015) *Mejoramiento de la confiabilidad del inventario físico de materias primas en Suppla S.A*, Universidad Autónoma de Occidente Facultad de ingeniería, Tesis para obtener el grado de Ingeniero Industrial. Santiago de Cali, Colombia.

[10] Malvais Delgado Rosa Edith (2017), *Estudio de vida de anaquel en bebidas saborizadas*. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesina

[11] Ocampo Muñoz Jaime Andrés (2003). *Determinación de la Vida de Anaquel del Café Soluble elaborado por la empresa de café S.A. y Evaluación del Tipo de Empaque en la Conservación del Producto*. Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Grado

[12] Guangbin, Yang. (2007). *Life Cycle Reliability Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

[13] Escobar, L. A., & Meeker, W. Q. (2006). *A Review of Accelerated Test Models*. Páginas 552-577

[14] Elsayed, A. E. (2013). *Stochastic Reliability and Maintenance Modeling*. London: Springer Series in Reliability Engineering

[15] García, C., Molina (2008). *Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas*. *Ingenierías* 18, (1,2) San José Costa Rica, Páginas 57-64.

[16] García, C., Chacón, G, Molina, M.E. (2008) *Evaluación de la vida Útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura*. *Ingeniería* 21 (2). San José Costa Rica, Páginas 31-38

[17] Barboza, B., Zoitza O. (2016). *Estimación de la vida útil de una bebida achocolatada mediante pruebas aceleradas por temperatura*. Tesis de Licenciatura en Nutrición y dietética. Universidad de los Andes, Facultad de Medicina

[18] Paternina, K., Acevedo D., Montero P. (2018) *Evaluación de la Vida Útil de una Pasta de Ajonjolí Azucarada mediante Pruebas Aceleradas*. *Información Tecnológica*. Vol. 29 No. 4. Universidad de Cartagena. Páginas 3-12.

[19] Meléndez, Y, Rodríguez Morachis, M., Rodríguez Medina, M., Zorrilla, F. (2021). *Determinación de la vida útil de la tortilla de maíz adicionada con aceite esencial de tomillo a través de pruebas de vida acelerada*. *Revista RIDE*. Vol. 12, No. 23 julio 2021.

ROLES DE CONTRIBUCIONES

Rol	Autor(es)
Conceptualización	Edgardo Rojas Tarango, Francisco Zorrilla Briones
Curación de datos	Edgardo Rojas Tarango, Manuel Arnoldo Rodriguez Medina
Metodología	Edgardo Rojas Tarango, Manuel Arnoldo Rodriguez Medina, Francisco Zorrilla Briones
Administración del proyecto	Edgardo Rojas Tarango, Manuel Arnoldo Rodriguez Medina, Francisco Zorrilla Briones

Recursos	Inocente Yuliana Meléndez Pastrana, Edgardo Rojas Tarango,
Supervisión	Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Francisco Zorrilla Briones, Luz Elena Terrazas Mata
Validación	Edgardo Rojas Tarango, Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Redacción	Edgardo Rojas Tarango, Luz Elena Tarango Hernández
Redacción	Luz Elena Tarango Hernández, Luz Elena Terrazas Mata



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.