UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Agroindustrial y Agronegocios

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE PIZZAS EN CADENA DE FRÍO POR EL MÉTODO DE WEIBULL

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial y Agronegocios

ÁLVAREZ GARCÍA, GIACOMO AARÓN

Asesor:

Elías Peñafiel, Carlos César Augusto

Lima - Perú

2016

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2

Entregado el: 31/10/2016

Aprobado por:

.....

Graduando: Giacomo Álvarez García

.....

Asesor de Tesis: Carlos Elías Peñafiel

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERIA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Giacomo Aarón Álvarez García, identificado/a con DNI Nº 45011543 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial y Agronegocios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE PIZZAS EN CADENA DE FRÍO POR EL MÉTODO WEIBULL.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 31 de octubre de 2016

……..……..
Giacomo Aarón Álvarez García
DNI N° 45011543

EPÍGRAFE

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.

(Albert Einstein)

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	**15**
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	**16**
Identificación del Problema	16
Formulación del Problema	17
MARCO REFERENCIAL	**18**
Antecedentes	18
Estado del Arte	18
Marco Teórico	19
Alimentos Listos para Consumir	19
Vida en Anaquel	20
Conservación de alimentos	21
Necesidad del estudio de la Vida en Anaquel de los alimentos	26
Técnicas de Determinación de Vida en Anaquel	27
Indicadores en el análisis de Vida en Anaquel de los Alimentos	29
OBJETIVOS	**39**
Objetivo General	39
Objetivo Específicos	39
JUSTIFICACIÓN	**39**
HIPÓTESIS	**40**
Hipótesis General	40
Hipótesis Específicas	40
MATRIZ DE CONSISTENCIA	**42**
MARCO METODOLÓGICO	**43**
Metodología	43
Paradigma	43
Enfoque	43
Método	44
VARIABLES	**44**
POBLACIÓN Y MUESTRAS	**45**

Población 45
Muestras 45
UNIDAD DE ANÁLISIS 45
INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS 45
Instrumentos 45
Técnicas 46
Aceptabilidad y Validez del instrumento 46
PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS 47
Procedimiento 47
Evaluación Microbiológica 47
Evaluación Sensorial 47
Método de Análisis 50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 54
Resultados Microbiológicos 54
Rechazo de los consumidores en función del tiempo 56
Ajuste de Correlación 60
Obtención de los parámetros de la Distribución Weibull 61
Estimación de Tiempo de Vida 66
Intervalo de Confianza 67
Bondad de Ajuste 69
Estadístico Anderson-Darling 73
Comparación entre Resultados Microbiológico y Probabilístico Weibull 74
Funciones típicas de la distribución de Weibull 74
CONCLUSIONES 76
RECOMENDACIONES 76
REFERENCIAS 77
ANEXOS 82

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Matriz de Consistencia 42
Tabla 2. Escala Hedónica 46
Tabla 3. Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (RM N°1020 -2010/MINSA) 51
Tabla 4. Resultado de Prueba 52
Tabla 5. Resumen de Resultados Microbiológicos. 54
Tabla 6. Criterio de referencia 55
Tabla 7. Resultados de la evaluación Sensorial 56
Tabla 8. Aceptación y rechazo de los consumidores 58
Tabla 9. Regresión Lineal 62
Tabla 10. Determinación de Bondad de Ajuste 69
Tabla 11. Cuadro Comparativo Microbiológico-Probabilístico 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Métodos de Preservación de Alimentos 23
Figura 2. Diagrama de Flujo de Elaboración de Pizzas 49
Figura 3. Evolución de los rechazos de pizzas empacadas en cadena de frío por la Distribución de Weibull 60
Figura 4. Aproximación gráfica del mejor ajuste entre las cuatro distribuciones 61
Figura 5. Función Lineal de Weibull 66
Figura 6. Curvas del intervalo de Confianza para la función Linealizada de Weibull 68
Figura 7. Determinación del mejor ajuste por MINITAB, mediante el estadístico Anderson-Darling ajustado apara las cuatro distribuciones evaluadas. 73
Figura 8. Función de Distribución Acumulativa (Función de Fallo) 75

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Tabla t-student 82
Anexo 2. Test Komogorov- Smirnov 83

DEDICATORIA

A mi padre Pedro,
mis hermanos,
y especialmente a mi madre,

AGRADECIMIENTO

A todos los profesores que me apoyaron con sus conocimientos para la elaboración de esta investigación. A las instalaciones de mi centro de trabajo que me facilitó las herramientas y la ejecución práctica.

RESUMEN

El tiempo de vida en anaquel de pizzas producidas por una importante cadena de supermercados, listas para consumo, conservadas en cadena de frio (0-4°C) y empacadas en poliolefina termoencogible, fue determinado microbiológicamente y por el método probabilístico de Weibull bajo condiciones reales, obteniendo un tiempo de vida en anaquel de 10 días y 16 horas, mantenidas en cadena de frío, con un 95% de probabilidad. Mediante el análisis microbiológico se obtuvo un tiempo de vida en anaquel de 336 horas (14 días), llegando al límite microbiológico = $1x10^2$ UFC/g (Unidades Formadoras de Colonia por gramo). Estos resultados sugieren que, al ser el método de Weibull determinado mediante pruebas sensoriales, el deterioro por factores físico químicos es detectado por los consumidores finales antes que el deterioro microbiológico.

Palabras Claves: Método Weibull, Poliolefina, Pizza, Vida en anaquel, Método probabilístico.

ABSTRACT

Shelf-life of pizzas produced by a major supermarket chain, ready to eat, preserved in cold chain and packaged in heat-shrinkable polyolefin was determined by microbiological and sensory tests, which were applied to the probabilistic Weibull Method under real conditions obtaining a shelf-life of 10 days and 16 hours, preserved in cold chain, with 95 % probability. By the respective microbiological analysis, the results obtained was 336 hours (14 days) of shelf.life. reaching the microbiological limit =1x10^2 UFC/g expressed in colony-forming units per gram (CFU / g). This results suggest that being Weibull method applied for sensory tests, the physical-chemical factors implied in deterioration were detected by the final consumers before the microbiological deterioration.

Keywords: Weibull Method, Polyolefin, Pizza, Shelf-life, Probabilistic.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria alimentaria iniciado en el siglo XIX y continuado en el siglo XX la sitúa como el primer sector industrial en la mayoría de países del mundo. El interés por diversificar los productos y mejorar la calidad impulsa la actividad en la industria de equipos para la industria de los alimentos, con el objetivo de dar respuesta a los requerimientos de las nuevas tecnologías (Raventós, 2003).

Sin embargo, uno de los obstáculos que se tiene con este desarrollo es el tiempo de vida en anaquel, la cual dependerá en gran medida de la composición química del alimento, procesos y condiciones de elaboración, así como su empaque y almacenamiento (Labuza, 2000).

Esta barrera ha llevado a muchos profesionales de la industria alimentaria a desarrollar distintas técnicas para prolongar la vida útil en anaquel, entre las cuales se destaca al envasado como una de las más desarrolladas, en donde se evalúa el material y el tipo de sellado que se emplea para preservar su calidad e inocuidad (Gratton,2007).

Un empaque o envase de alimentos se define como una estructura diseñada para contener un producto alimenticio con el objetivo de hacer más fácil y seguro su transporte, proteger al producto de la contaminación externa o pérdida cuantitativa, proteger al producto del daño y degradación, y proveer uno modo correcto de distribución del producto. (Salas, 2007).

Para determinar la vida útil en anaquel existen distintas técnicas para la cual se debe tener en cuenta las características del alimento y así poder definir el método más preciso y eficiente (Labuza, 2000).

La presente investigación se centró en estudio de determinación de vida en anaquel de pizzas listas para consumir, en cadena de frio, de una importante compañía productora. Teniendo en cuenta que es un alimento altamente perecedero por la composición química de sus ingredientes y la ausencia de preservantes lo convierte en un blanco perfecto para el desarrollo de microrganismos. Se evaluó un nuevo empaque como alternativa que permita extender la duración de la misma y así poder tener un mayor radio geográfico de comercialización, el cual se limita debido a su corta duración, que actualmente no supera los 5 días.

Finalmente, se buscó superar otra dificultad de la compañía, que es el alto porcentaje de merma y devolución debido a su corta vida en anaquel. Indicador difícil de mejorar debido a la volatilidad en las ventas de la compañía.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Identificación del Problema

"En el Perú, el consumo en supermercados se ha incrementado de manera considerable" (Equilibrium Clasificadora de Riesgo, 2015) lo cual lleva a las industrias de este rubro a una creciente necesidad de mejorar el control sobre la calidad total durante todas las etapas del proceso de diversos alimentos listos para servir, entre los cuales destaca la pizza tradicional de origen europeo.

Cabe resaltar que *"la comida fresca es claramente preferida por los consumidores en comparación de la comida congelada"* (Food and Nutrition Sciences, 2011). Sin embargo, una gran desventaja de esta es la rapidez en su deterioro, lo cual ha llevado a muchos profesionales de la industria alimentaria a desarrollar distintas técnicas para prolongar la vida en anaquel de la misma.

En muchos casos las técnicas en mención deben ir de la mano del control de otros puntos críticos como son la humedad relativa y temperatura, los cuales son factores externos que afectan al producto. Esto se controla a través de cadena de frío que comienza desde el control de los insumos y su condición de almacenamiento previos a ser utilizados para la elaboración de los alimentos. Seguido del control durante el proceso, almacenamiento de producto terminado y su traslado hacia los puntos de venta.

El interés en optimizar la duración de las pizzas se origina debido a que tiene una creciente demanda por la facilidad y rapidez con la que se prepara, agradable sabor sumado a su bajo costo de elaboración. Sin embargo, como muchos otros alimentos, es altamente perecedero y en consecuencia de corta vida en anaquel lo cual genera que la producción de la misma a escalas industriales sea limitada debido a que su comercialización debe ser inmediata.

Formulación del Problema

Problema General

¿Cuánto es el tiempo de vida en anaquel en cadena de frío de pizzas empacadas en poliolefina termoencogible, por el método de Weibull?

Problemas Específicos

¿En qué tiempo se llega al límite microbiológico en pizzas empacadas en poliolefina termoencogible mantenidas en cadena de frío?

¿Cómo evolucionan los rechazos en función del tiempo de las pizzas empacadas en poliolefina termoencogible mantenidas en cadena de frío en la evaluación sensorial?

¿Cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal?

¿Cuál es la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de probabilidad?

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

Existen estudios sobre determinación de vida útil de productos secos como el café soluble en polvo, elaborado en Colombia, realizando experimentos acelerados de vida útil en donde se determina la parte sensorial mediante la distribución de Weibull, la cual debe ir de la mano de previamente con microbiológicas y fisicoquímicas para poder asegurar la inocuidad del alimento (Ocampo, 2003).

Para productos de panificación como la tortilla de maíz se realizaron estudios de vida útil teniendo en cuenta a su vez el efecto del sorbato de potasio como conservante bajo dos condiciones de almacenamiento refrigeración y congelación. Al contar con mayores variables como son las diferentes temperaturas, se utilizaron pruebas de comparaciones múltiples para determinar el tiempo máximo de preservación que logre la aceptación del consumidor (Almachi, 2009).

Estado del Arte

Existen diversos estudios a nivel internacional con respecto a la prolongación de la vida útil de los alimentos listos para servir. La mayoría de estos alimentos de interés presentan la característica de tener un pH elevado, el cual facilita aún más el deterioro por efectos de microorganismos. Es por esto que la extensión de la vida útil la cual representa un gran reto para la industria alimentaria, que viene desarrollando distintas técnicas entre las cuales destaca el empacado donde combinan materiales y métodos de sellado como es el caso de atmósfera modificada, la cual retrasa el deterioro químico y microbiológico de algunos perecibles como el caso de carnes (Clark y Lenz, 1969).

De acuerdo a una publicación elaborada en la Universidad Estatal de Ponta Grossa (UEPG), en Brasil, a partir de pruebas experimentales, se logró reducir el tiempo de fermentación de la masa de pizza, con lo cual se pudo optimizar el proceso productivo reduciendo el costo sin alterar la calidad total del producto. Con esto se denota que la búsqueda de optimización por parte de las industrias se da a lo largo de toda la cadena productiva.

En la industria alimentaria se encuentran insumos desarrollados para poder reemplazar los tradicionales, como es el caso del queso de origen vegetal; el cual suplanta al tradicional queso Mozzarella usado en muchas variedades de pizza. Este queso posee atributos similares

de apariencia, color y textura siendo aceptaba por el consumidor final de manera comprobada en determinadas zonas como es el caso del Reino Unido. Dicho insumo es menos perecedero y de menor costo que el queso Mozzarella, el cual es de origen animal (International Journal of Food Science and Technology, 2008).

Marco Teórico

Alimentos Listos para Consumir

La aparición de los alimentos de cuarta y quinta gama en el mercado crece a partir del incremento en la demanda de los consumidores y ante una necesidad de la industria por aumentar sus posibilidades de comercialización (López et al., 2004).

Alimentos de Cuarta Gama

Se definen como alimentos de cuarta gama a las frutas y hortalizas frescas que no han recibido tratamiento térmico, lavados, desinfectados y envasados, que han podido ser objeto de troceado, corte o cualquier otra operación que altera a la integridad del producto (cualquier procedimiento físico que entrañe una modificación de las características fisiológicas y microbiológicas del producto), listos para servir o cocinar, destinados al consumo humano (AFHORLA, 2010).

Es sujeto a las operaciones antes mencionadas con la finalidad de mantener sus cualidades organolépticas, sanitarias y multifunciones.

Dependen de un estricto cuidado de la cadena de frío (De 1°C a 4° C) desde el momento de su recolección hasta su consumo para evitar la proliferación de los microorganismos e inhibir en algunos casos, los cambios físico-químicos propios del producto debido a su composición.

Alimentos de Quinta gama

Los alimentos de quinta gama se consideran como una alternativa para la comida rápida ya que son productos precocinados que requieren de recalentamiento antes de ser consumidos, teniendo como característica la corta duración y que se comercializa en condiciones de refrigeración (López et al., 2004).

Vale aclarar que se tratan de alimentos mantenidos en condiciones de refrigeración y sin presencia de oxígeno, por lo que existe un especial riesgo con la presencia de patógenos, como la Listeria Monocytogenes, por lo cual, el estricto control sobre la cadena de frio es crucial (López et al., 2004).

Para todos los casos de este tipo de alimentos el envasado se da con atmósfera preservadora, sin presencia de oxígeno, con lo cual, el envase resulta ser el componente más trascendente para evitar la contaminación y fundamental en la inocuidad del producto (López et al., 2004).

Vida en Anaquel

La vida en anaquel o vida útil de un alimento se define como el periodo durante el cual un alimento conserva sus cualidades microbiológicas y organolépticas a una establecida temperatura de almacenamiento (Codex Alimentarius Comission,1999).

La vida útil de los alimentos está directamente relacionada con la calidad del alimento, por lo que los productores de estos se encuentran obligados a declararla, indicando claramente la fecha de expiración en el empaque. Esta norma es regulada por organismos locales como la Dirección Nacional de Salud Ambiental (DIGESA) y a su vez los internacionales como la FDA (Food and Drug Administration) y la USDA.

Desde el enfoque sensorial, la vida útil de un alimento se define como el tiempo que transcurre entre el último eslabón de la cadena productiva del producto y el punto en el cual se vuelve inaceptable bajo ciertas condiciones ambientales (Gould, 1996).

Conservación de alimentos

Causas de alteración de Alimentos

Para comprender el avance en las técnicas de conservación de los alimentos es imprescindible conocer las diversas fuentes de deterioro y la manera de prevenirlo. Entre estas causas podemos distinguir, según su origen, las que son generadas por agentes físicos, químicos y biológicos (Gratton et al., 2012).

Los agentes físicos actúan principalmente sobre el manejo post cosecha y los tratamientos posteriores. En general, no suelen alterar las características nutricionales de los alimentos. El hecho más importante es que pueden significar una vía de entrada a las otras alteraciones (Gratton et al., 2012).

Gratton (2012) clasifica las alteraciones como se muestra a continuación:

Las alteraciones mecánicas que abarcan golpes, cortes, en general sin alteraciones graves, pero que suponen una disminución de la vida en anaquel de los alimentos (Gratton et al., 2012).

La temperatura, en donde intervienen las actividades químicas y enzimáticas puesto que doblan su velocidad de reacción cada incremento en 10ªC, acelerando así los procesos de descomposición. Por otra parte, existen nutrientes especialmente sensibles al calor (algunas vitaminas), el cual propicia los cambios de estado de emulsiones o mezclas que contengan agua, al facilitar su deshidratación (Gratton et al., 2012).

La humedad que facilita el desarrollo de microorganismos (Gratton et al., 2012).

El oxígeno del aire que altera algunas proteínas produciendo variación en el color y facilitando la oxidación, etc. (Gratton et al., 2012).

La luz, la cual altera el color y la composición de ciertas vitaminas (Gratton et al., 2012).

La alteración a causa de los agentes químicos se puede manifestar especialmente durante los procesos de almacenamiento de los alimentos. Su efecto puede afectar de forma importante la condición saludable del alimento debido al enranciamiento, pardeamiento, etc. (Gratton et al.,2012).

Entre los agentes químicos que más destacan tenemos:

Reacción de Maillard (Pardeamiento No Enzimático) que trata de reacciones complejas entre azúcares y compuestos nitrogenados (proteínas), las cuales generan pigmentos pardos, siendo en algunos casos producidos de forma industrial (fritos y tostados) y en otras de manera natural catalizadas por el calor. (Gratton et al., 2012).

Enranciamiento de lípidos, que se produce por reacciones de hidrólisis y oxidación. Se forman compuestos volátiles que dan olores y sabores característicos (a rancio). El enranciamiento es más frecuente en grasas insaturadas (Gratton et al., 2012).

Finalmente, se clasifica a los agentes alterantes de los alimentos de origen biológico, intrínsecos, como las enzimas y los extrínsecos, como parásitos o microorganismos describiendo a continuación su naturaleza (Gratton et al., 2012):

Enzimáticos: algunas enzimas sobreviven a los propios organismos, aumentando su actividad. Algunas enzimas alteran la estructura de los alimentos (maduración de frutos o reblandecimiento de carne), pero pueden acabar provocando su descomposición. Un ejemplo claro es el rigor mortis que ocurren en la carne de los animales, debido a cambios enzimáticos ocurridos al faltar la circulación sanguínea y en consecuencia la oxigenación necesaria para el metabolismo aerobio (Gratton et al., 2012).

Insectos, parásitos, roedores y pájaros, que compiten directamente por la obtención de alimentos (Gratton et al., 2012).

Microorganismos: Son sin duda los que producen las alteraciones no deseadas. En algunos casos pueden suponer riesgos para la salud de las personas, siendo las infecciones microbianas el problema de mayor gravedad en la alimentación humana, después del hambre y la sobrealimentación. Cabe resaltar, sin embargo, que no todos los efectos son negativos, pues diversos alimentos son producidos total o parcialmente por ellos: los alimentos fermentados.

Existen casos en donde los microorganismos ya se encuentran en el alimento, en otros, se encuentran de diversas maneras en el medio que nos rodea (aire, agua, etc.) Entre los más perjudiciales están las bacterias, tanto por su abundancia como por su elevada tasa de reproducción pueden producir toxinas (Clostridium) o ser infecciosas por si mismas (Salmonella, Listeria). Otro grupo trata a los mohos, importantes por la

producción de toxinas y por su resistencia a las condiciones más extremas; finalmente, las levaduras, con las transformaciones rápidas más relevantes desde el punto de vista fermentativo (Gratton et al., 2012).

Técnicas de Conservación

Existen distintas técnicas de conservación que buscan principalmente evitar la formación de microorganismos se da por diversos factores, siendo las principales causas la deficiencia en las buenas prácticas de manufactura, resistencia y calidad del empacado y las condiciones de almacenamiento (Hickey, 1980).

Basado en el modo de acción, las principales técnicas de conservación se pueden clasificar por desaceleración o inhibición del deterioro químico y crecimiento microbiano, inactivando directamente bacterias, levaduras, mohos o enzimas y evitando la recontaminación antes y después del proceso (Rahman, 2007).

Numerosas técnicas o métodos de la clasificación mencionada se dividen como se muestra en la siguiente figura (Rahman, 2007):

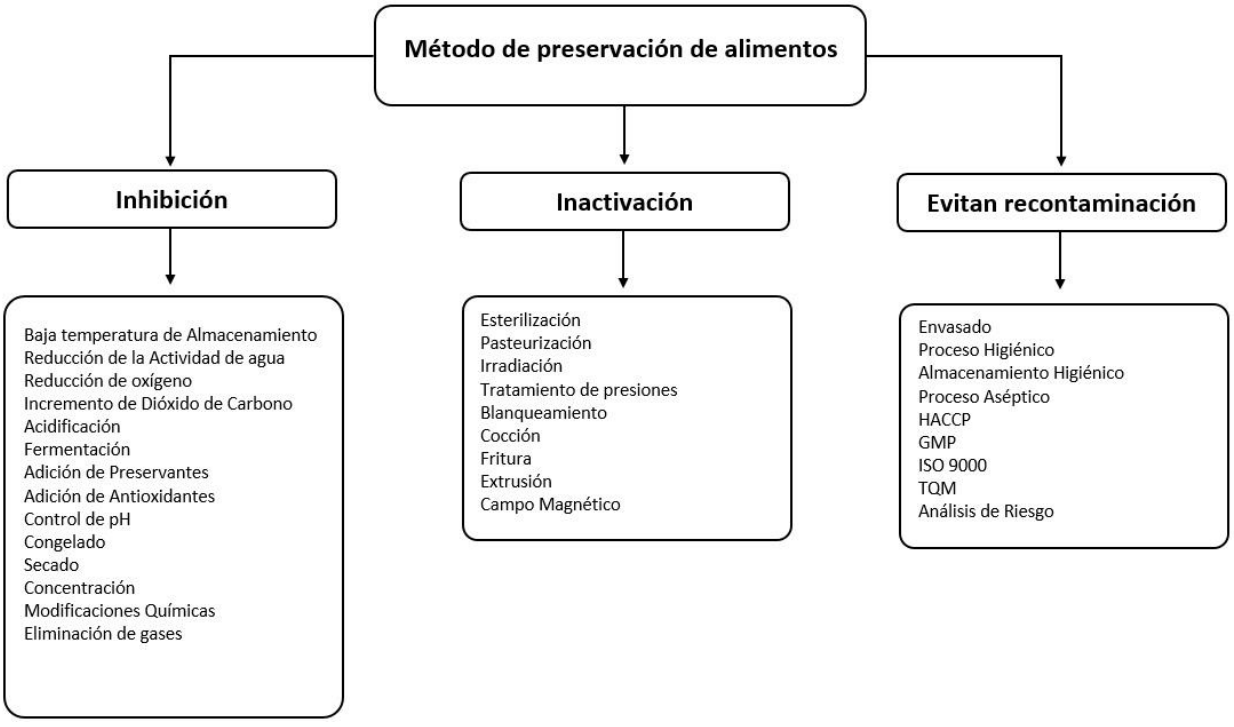


Figura 1. Métodos de Preservación de Alimentos

Inhibición

Los métodos basados en la inhibición incluyen aquellos que se basan en el control del medio ambiente (temperatura y humedad relativa), los que resultan de métodos particulares de procesamiento, y los que dependerá de las propiedades intrínsecas de cada alimento como la actividad de agua o el valor de pH. La zona de peligro para el crecimiento microbiano se considera que es entre 5 ° C y 60 ° C; por lo tanto, enfriar y almacenar a una temperatura por debajo de 5 ° C es uno de los métodos más populares de la conservación de alimentos (Rahman, 2007).

A muchos de los productos de panadería se les adiciona diversos aditivos para preservarlos y evitar principalmente la formación de levaduras (Sofos y Busta, 1993).

Inactivación

De acuerdo con Rahman (2007) la inactivación térmica sigue siendo el proceso más utilizado en la conservación de alimentos. Las ventajas de utilizar el calor para la conservación de alimentos son el calor que es seguro, libre de químicos y además proporciona controlada cocción que otorga sabores y gustos. La mayoría de los microorganismos causantes de deterioro son termolábiles. Teniendo en cuenta además que, si los alimentos son envasados a altas temperaturas y en un envase estéril, tiene mayores probabilidades de prolongar su vida útil.

Las principales desventajas de la utilización de calor son la cocción excesiva, la cual puede conducir a la desintegración de textura y un sabor indeseable, y el deterioro de las propiedades nutricionales de procesamiento debido a la alta temperatura. Dentro de los procesos de tratamiento térmico se incluye principalmente a la pasteurización, esterilización, cocción, extrusión y fritura (Rahman, 2007).

Empaque como barrera de contaminación

Una alternativa como herramientas es el envasado sumado a la gestión de la calidad que se necesita para ser implementado en el proceso de conservación para evitar la contaminación o la recontaminación de los alimentos. Y aunque estas medidas no son las técnicas de conservación,

desempeñan un papel importante en la producción de alimentos inocuos y de alta calidad (Rahman, 2007).

Con respecto a los procesos que restringen el acceso de los microorganismos a los alimentos, Rahman (2007) menciona el empleo de técnicas de envasado aséptico de alimentos procesados térmicamente se ha expandido enormemente en los últimos años, tanto en el número de aplicaciones como técnicas alternativas.

De acuerdo con Rahman (2007), a partir de distintos materiales se ha hecho un enorme progreso en el desarrollo de envases y equipo considerando que el empaque tiene tres funciones principales:

El primero es controlar el local de condiciones ambientales para mejorar la vida de almacenamiento.

El segundo es la imagen, es decir, la presentación del producto de una manera atractiva para el potencial cliente.

La tercera función es la de proteger el producto durante el tránsito que sigue hasta llegar al consumidor final.

El nuevo concepto de materiales de envasado activo permite la transferencia unidireccional de gases desde el producto o retrasa la absorción de gases perjudiciales para el mismo, el uso de agentes antimicrobianos en el envasado a través de la liberación de conservantes de la superficie controlada, eliminadoras de oxígeno, generadoras de dióxido de carbono, absorbentes o eliminadores de olores y absorción de longitudes de onda de luz seleccionadas (Rahman, 2007).

En otro de los métodos destacan las técnicas de envasado que para el caso de productos de panadería cabe señalar que desde hace décadas se viene haciendo uso de gases combinados como el caso del CO_2 y N_2 para preservar los alimentos (Bogadtke, 1979). Parte de estudios realizados notaron que el desarrollo de mohos se encuentra presente en empaques que contienen Nitrógeno.

Para estos productos sin embargo, es más eficiente la combinación de CO_2 y O_2 en donde la duración puede prolongarse hasta 100 días sin presencia de mohos, siendo esta técnica utilizada por muchas compañías en Europa en la actualidad (Smith, 1990).

Poliolefina como material de empaque

Los polímeros usados comúnmente en el envasado de alimentos son las poliolefinas, entre las cuales destacan los polietilenos de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y los polipropilenos (PP) (Al- Ali et al., 2016).

Las propiedades técnicas, física y mecánicas de las poliolefinas usadas en el envase de alimentos varía de acuerdo a su composición química puesto que las poliolefinas comprimen monómeros con varios tipos de átomos, siendo determinadas sus características por los arreglos, configuración, composición y numero de moléculas y átomos (Al- Ali et al., 2016)

Por ejemplo, mientras el peso molecular del polietileno aumenta, alguna de sus propiedades como la tensión, fuerza, dureza, claridad y hasta elongación, también crece (Al- Ali et al., 2016).

Las siguientes características son consideradas en al momento de diseñar el sistema de empacado con plástico (Al- Ali et al., 2016):

Densidad
Grado de Polimerización
Propiedades térmicas (Cristalización, expansión, deformación)
Resistencia Química
Permeabilidad (Solubilidad)
Propiedades físicas (Coeficiente de Fricción, tensión, viscosidad, elasticidad, etc.)
Propiedades morfológicas

Necesidad del estudio de la Vida en Anaquel de los alimentos

A fines del siglo XX, la demanda por alimentos con larga vida útil se incrementó. El comienzo de este hecho parte del incremento en la demanda durante todo el año de alimentos frescos, de mejor calidad, prácticos y seguros. Sumado a la globalización de los sistemas de distribución de alimentos, que a su vez un presionó a la industria alimentaria en la búsqueda de técnicas para asegurar la estabilidad y el tiempo de almacenamiento de alimentos, que comenzaron a ser comercializados cada vez más lejos del lugar de producción (Labuza, 2000).

Para la industria alimentaria el garantizar la demanda de productos con vida útil prolongada y al mismo tiempo mínimamente procesados, se convierte en un reto la mejora de

los métodos de conservación de las características organolépticas y promover la formación de técnicos expertos en el análisis de alimentos (Labuza, 2000).

El estudio de la conservación de productos alimenticios no otorga resultados absolutos directamente aplicable a todos los alimentos, debido a que tienen gran variedad, complejidad y están en constante cambio (Fu & Labuza, 2000).

Técnicas de Determinación de Vida en Anaquel

El estudio de la vida en anaquel de un alimento puede seguir varios métodos, incluyendo cálculo basado en los datos publicados, el uso de tiempos de distribución conocidos para los productos similares que ya están en el mercado o el uso de las quejas consumidor como base para la determinación de la aparición de problemas. Estos métodos tener varias contraindicaciones, incluyendo el hecho de que, normalmente, el análisis de datos de la vida útil es sensible, no hay productos en el mismo mercado o no existen ninguna queja del consumidor sobre el producto de que se trate (Corradini et al., 2007).

Los principales métodos de estudio de vida en anaquel de un producto se pueden dividir en directo e indirecto (New Zeland Safety Authority, 2005)

Método Directo

Los métodos directos son los más comunes (Labuza, 2000) e implican el almacenamiento de alimentos en condiciones de previamente seleccionadas, para un intervalo de tiempo mayor que la vida útil esperada, durante el cual el alimento es verificado en intervalos regulares para determinar cuándo iniciar su alteración (New Zeland Safety Authority,2005).

A continuación, se detalla las etapas para la determinación de la vida útil por el método directo:

Identificación de causas de deterioro del alimento: Se deben considerar factores tan variados como uso de materias primas y su interacción, actividad de agua, pH, los gases, el uso de aditivos; en el caso de degradación relacionada se debe considerar el proceso, el tipo de elaboración, envasado y su almacenamiento.

Selección de ensayos a realizar: Hay que elegir las pruebas a utilizar y éstos deben ser apropiados para la muestra de estudio. Los criterios que se aplican son diversos,

sin embargo, siempre se recomienda la detección de bacterias patógenas asociada con el alimento (Fu & Labuza, 2000).

Planeamiento de estudio de Vida útil: Se debe tener en cuenta el tiempo de estudio y la frecuencia de aplicación de las diferentes pruebas, el número de muestras que deben analizarse en cada prueba, el número total de muestras, principio y fin del estudio (Fu & Labuza, 2000).

Realización de estudio de Vida útil: Durante este estudio, las muestras deben ser almacenadas en idénticas condiciones que el producto regular.

Determinación de Vida Útil: La determinación debe ser razonable, se debe tener un margen de seguridad (Fu & Labuza, 2000).

Monitoreo de Vida útil: Se debe hacer seguimiento al producto y estar alerta ante un posible ajuste en el tiempo. Los estudios deben realizarse siempre que ocurran modificaciones en el proceso del producto (Fu & Labuza, 2000;).

Método Indirecto

En los métodos indirectos se utilizan estudios y / o modelos acelerados en donde se toma en cuenta lo siguiente:

Datos Bibliográficos: Es posible estimar la vida útil de un alimento a base los datos publicados por organismos acreditados e internacionalmente reconocidas, pero por lo general, estos datos se reducen y se limita exclusivamente a algunos alimentos (Labuza, 2000).

Tiempos de Comercialización: Se toma como referencia la vida útil de los alimentos similares para establecer la vida en anaquel de los alimentos en estudio. Es arriesgado, no requiere tiempo de análisis, pero es importante tener una idea aproximada del tiempo de almacenamiento en el hogar del consumidor. en el caso de que no haya un producto similar en el mercado, este método no se puede utilizar (Fu & Labuza, 2000).

Prueba de Distribución: Si el producto ya es comercializado o si existe confianza y conocimiento suficiente, este método es adecuado. El alimento es tomado del lugar de venta (normalmente supermercado) y es llevado a un laboratorio en condiciones

normales de almacenamiento. Es un método que se basa en el tiempo de distribución y condiciones normales de almacenamiento (Fu & Labuza, 2000).

Métodos Predictivos: Se usan ecuaciones matemáticas que integran la información a bases datos científicos para predecir el crecimiento microbiano en condiciones definidas. En estos estudios, es esencial recopilar información sobre el deterioro, las propiedades del producto y envasado. Muchos de estos modelos son predictivos específicos para un microorganismo dado. El uso de modelos predictivos en microbiología de los alimentos se inició en 1920 con el desarrollo de métodos para calcular el tiempo de destrucción térmica de los microorganismos, que han revolucionado industria conservera (Goldblith *et al*., 1961).

Test de Aceleración: Es uno de los métodos más utilizados, sin embargo, el diseño experimental y / o los resultados pueden ser incorrectamente interpretados. El objetivo de este método es estimar la vida de un alimento en particular (teniendo en cuenta las diferentes condiciones de almacenamiento siendo por lo general extremas) sometiéndolo a evaluaciones periódicas hasta que llega al final de su vida útil haciendo uso de estos datos para establecer la vida útil en condiciones normales de almacenamiento (Labuza, 2000).

Indicadores en el análisis de Vida en Anaquel de los Alimentos

Para tener un enfoque seguro de estudio de vida en anaquel es necesario definir indicadores que midan la calidad del alimento. Dentro de estos indicadores encontramos se toman evaluaciones microbiológicas, físico-químico y sensoriales (Labuza, 2000).

Análisis Microbiológico

La calidad microbiológica de un alimento está determinada por la cantidad de microorganismos presentes en dicho alimento (Malakar et al., 1999)

El estado microbiológico de las comidas que llevan una mayor vida útil en condiciones de refrigeración (comidas rápidas, listas para comer y concentrados), está influenciada principalmente por los microorganismos psicrófilos y mesófilos, ya que tienen la capacidad de crecer en caso de fluctuaciones térmicas o enfriamiento prolongado

(Labuza, 2000). En tales casos, y para estimar la vida útil del producto, es importante determinar el potencial de crecimiento de los psicrófilos durante el almacenamiento en frío, así como estimar el impacto del crecimiento en la calidad organoléptica del producto (Marth,1998).

Entre los organismos más interesantes para estudiar dentro de productos en refrigeración están las levaduras, Pseudomona Spp, Mycobaterium Spp, los cuales puede crecer lo suficiente como para alterar el alimento refrigerado (Labuza, 2000).

En cuanto a los métodos de análisis microbiológicos de los alimentos se tiene el recuento de aerobios totales a una temperatura promedio de 30°C y a su vez el conteo de enterobacterias los cuales son indicadores generales de higiene de los alimentos. Por otro lado, se tiene el conteo microorganismos patógenos como es el caso de Salmonella Spp., Listeria Monocytogenes y Staphylococcus Aureus (Labuza, 2000).

Por lo general, para poder realizar los análisis mencionados, se requiere de tiempo y de un laboratorio que cuente con los equipos y personal capacitado para realizarlo.

Análisis Físico-Químico

Las reacciones químicas dentro de un alimento alteran en muchos casos su calidad. Es el caso de la oxidación de lípidos, pardeamiento enzimático y no enzimático dependiendo de la composición del alimento.

Para poder determinar las características físico-químicas de un alimento se deben realizar distintas pruebas entre las cuales destaca la composición química proximal, la determinación del nitrógeno proteico y no proteico, índice de acidez.

Estudios de Evaluación Sensorial en la Vida en Anaquel de los alimentos

Atributos sensoriales

Los atributos de un alimento son usualmente percibidos de acuerdo a su apariencia, aroma, textura y sabor, respetando ese orden jerárquico. Sin embargo, en el proceso de percepción, la mayoría de los atributos se superponen debido a que el panelista recibe simultáneamente todas las impresiones sensoriales y a falta de entrenamiento no estará en condición de realizar una evaluación independiente de cada atributo (Meilgaard, 2007).

De acuerdo con Meilgaard (2007), las características generales de Apariencia abarcan lo siguiente:

Color: Un fenómeno que involucra componentes físicos y psicológicos: la percepción por el sistema de la luz de longitudes de onda expresadas comúnmente en términos de Matiz, Valor y Croma.

Tamaño y Forma: Longitud, espesor, anchura, tamaño de partícula, forma geométrica (cuadrado, circular, etc.) y distribución de piezas.

Textura de Superficie: Resaltante u opaco, uniforme o desigual, dureza o suavidad, humedad o sequedad que se presenta en la superficie del producto.

Claridad: La opacidad y transparencia de líquidos y sólidos. La presencia o ausencia de partículas de tamaño visible.

El aroma de un producto es detectado cuando sus compuestos volátiles entran por las fosas nasales siendo percibidos por el sistema olfativo. El aroma es el olor de un alimento mientras que la fragancia lo es de un cosmético o perfume (Meilgaard, 2007).

El tercer atributo es la textura, la cual se considera por ser percibida por los sensores que se encuentran en la boca, piel y músculos de distintas partes del cuerpo, siendo la primera para efectos de evaluación de alimentos teniendo en cuenta características como la firmeza, dureza, viscosidad, gomosidad, entre otros (Meilgaard, 2007).

Análisis de las Evaluaciones Sensoriales

La evaluación sensorial tiene diferentes enfoques, dependiendo si corresponde a producto industrial o un producto tradicional.

Esto es debido al hecho de que el consumidor actual tiene poca tolerancia ante cualquier cambio en las características sensoriales de los alimentos industriales, en cualquier etapa de su vida, a diferencia de la comida tradicional preparada al instante, en donde se aplica el concepto "diferente pero aceptable" (Hough, 2006).

Este hecho influye en el tipo de metodología de análisis a seguir. Por lo tanto, algunos puntos controversiales y las preguntas planteadas sobre de análisis del ciclo de vida, se centran especialmente en la parte sensorial cuestionando, por ejemplo, qué tan seguras son las predicciones basadas en estudios de laboratorios en donde los panelistas entrenados y/o consumidores degustan pequeñas porciones de alimentos bajo condiciones controladas. Así mismo, se cuestiona entre otras cosas, qué sucede en la vida útil de un alimento una vez abierto el envase. (Hough, 2006).

Desde el punto de vista sensorial, la vida útil de un alimento no depende exclusivamente de él, sino de la interacción entre el alimento y su consumidor (Fan et al., 2003).

La evaluación sensorial muestra al menos dos enfoques.

Un primer enfoque en donde se realizas las pruebas de diferencia, en el cual se busca determinar con cierto grado de probabilidad si el alimento se encuentra alterado, especificando además el momento en el que ocurrió la alteración teniendo como desventaja no poder determinar el comportamiento o cambio de las características del alimento en función del tiempo.

El segundo enfoque, buscan modelar la pérdida progresiva de las características del alimento usando escala graduada. Sin embargo, para esta prueba, la experiencia y el tamaño del panel que se encarga de analizar es más exigente lo cual genera datos pocos confiables (Labuza, 2000).

Si se desea obtener resultados confiables y válidos en los estudios sensoriales, el panel debe ser tratado como un instrumento científico. Toda prueba que incluya paneles sensoriales debe llevarse a cabo en condiciones controladas, utilizando diseños

experimentales, métodos de prueba y análisis estadísticos apropiados. Solamente de esta manera, el análisis sensorial podrá producir resultados consistentes y reproducibles (Watts, 1992).

Función de Riesgo

Para aplicar técnicas estadísticas es importante conocer la función de riesgo, la cual se describe mediante una función de densidad probabilística f(t). Asimismo, se debe conocer la función de probabilidad acumulada F(t) que describe la probabilidad de fracaso en un periodo de tiempo desde 0 a t definida de la siguiente manera(Ocampo,2003):

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

Por otro lado, la probabilidad de que un producto fracase después de un tiempo t es:

$$S(t) = 1 - F(t)$$

También denominándose como función de confiabilidad, definiendo a partir de lo anterior, el coeficiente de riesgo:

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$$

h(t) es conocida también como índice instantáneo de fracaso y mide la probabilidad en que determinado producto que ha sobrevivido hasta un tiempo t, fracase inmediatamente. Generando esto un riesgo acumulado H(t) se define:

$$H(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(t)}{1 - F(t)} dt = -\ln[1 - F(t)]$$

Distribuciones Tradicionales

La mayoría de distribuciones usadas en fiabilidad tienen como máximo tres parámetros.

Parámetro de escala α que caracteriza a las distribuciones de un solo parámetro. Define cuán dispersa se encuentra la distribución, siendo la desviación estándar típica para el caso de una Distribución Normal (Warleta, 1973).

El Parámetro β, conocido como parámetro de forma, define la forma de la distribución. Algunas distribuciones (como la exponencial o la normal) no poseen este parámetro pues tienen una forma predeterminada que no cambia, la cual es comúnmente vista como un gráfico de campana (Ángel et a., 2012).

El Parámetro de localización γ se usa para desplazar una distribución hacia un lado u otro. Dada una distribución cuyo dominio habitual sea [0, +∞), la inclusión de un parámetro de localización γ cambiará el dominio a [γ, +∞). En el caso de la distribución normal, el parámetro de localización es la media (Ángel et at., 2012).

Las distribuciones que más se emplean a la hora de modelar tiempos de fallo (o tiempos de vida) son la Weibull, Exponencial, Normal, Log-logística entre otros (Ángel et al., 2012).

Método Weibull

Si bien existen diferentes enfoques estadísticos y gráficos de los datos sensoriales en estudios de vida en anaquel de los alimentos, este gran método gráfico con alto grado de confiabilidad ha atraído a más seguidores en la industria alimentaria (Labuza, 2000).

Este método fue utilizado hasta hace poco, exclusivamente, en la industria Química y farmacéutica como una buena aproximación de la evaluación sensorial usando análisis de riesgos para poder determinar si el producto “es aceptable”.

La frecuencia de la evaluación aumenta cerca del final de la vida útil estimada del producto con el fin de determinar con mayor precisión su tiempo de vida.

Este método evalúa un número definido de muestras del alimento y luego determina un punto en el tiempo en el cual que cada unidad de muestra deja de ser aceptable (Schmidt, 1992).

Los datos del análisis se llevan a un gráfico de tiempo utilizando la distribución de Weibull para determinar el momento en el que el 50% de los consumidores consideran al producto inaceptable (Labuza, 2000).

Con algunos cambios pueden ser muy útil sobre todo en las industrias de alimentos pequeño tamaño, ya que evita los costes asociado con el mantenimiento de un sofisticado equipo de degustación (Labuza, 2000).

Finalmente, en una investigación realizada en Perú, mediante el Método de Weibull se determinó que la vida en anaquel media del pan de molde fue igual a 11.7 días a 20 ºC y empacado en bolsas de polietileno y se tiene un 95% de probabilidad de que el tiempo de vida útil se encuentre entre 11.68 y 11.72 (Elías et al., 2010).

Curva de Riesgo de la Distribución Weibull

Según Prabhakar et al. (2004), la literatura sobre los modelos de Weibull es extensa y dispersa a través de diferentes referencias. Klein y Moeschberger (1997), obtiene una fórmula para asegurar el ajuste de una distribución de Weibull y estimar parámetros:

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

Dicha fórmula permite estimar a través de una rectificación lineal muy utilizada en ingeniería mecánica según Tobías y Trinidad, 1995. Sin embargo, los especialistas en industrias alimentarias hacen un arreglo, estimando así el tiempo de la siguiente forma:

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

Siendo llamado por Larsen, 2006, el método Gacula.

A partir de las investigaciones de Gacula y Singh (1984), así como Klein y Moeschberger (1997), Larsen(2006) presenta la siguiente deducción:

$$S(t) = 1 - F(t)$$
$$S(t) = e^{-H(t)}$$

Siendo así la función de distribución acumulativa o función de fallo:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

Donde:

α= Parámetro de Escala. Mide que tan dispersos son los datos entre sí.

β = Parámetro de Forma. Mide la forma de variación de la variable Y con respecto a X.

Si β<1 la función de riesgo o tasa de fallo disminuye al aumentar el tiempo.

Si β=1 (modelo exponencial), la función de riesgo es constante. Una tasa de fallo constante es característica de los fallos ocasionales. En esta situación, la cantidad de fallos y el momento en el que ocurren no dependen del tiempo en que el dispositivo está en funcionamiento (Griful, 2001).

Si β>1, la función de riesgo es creciente. Esto indica que los fallos son debido al envejecimiento o desgaste. En particular, si 1< β<2, la función de riesgo crece rápidamente al inicio y muy poco al final. Si β>2, la función de riesgo crece linealmente con el tiempo. Finalmente, si β>2, la función crece poco al inicio y rápido posteriormente, siendo así que el intervalo de tiempo en el cual se produce un fallo es cada vez menor (Griful, 2001).

Es importante tener en conocimiento de otras funciones relacionadas como las siguientes:

Función de densidad probabilística fdp:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

La función media definida por Griful (2001):

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

Donde Γ es la función gamma definida de la siguiente forma:

$$\Gamma(t) = \int_0^{\infty} t^{(p-1)} e^{t}\, dt$$

Para t>0.

Es importante tener en cuenta la ecuación estadística correspondiente al intervalo de confianza a para regresión simple. Gutiérrez y De la Vara (2008) consideran a la siguiente fórmula para determinar dicho intervalo de confianza:

Donde: $$E_{(Y_0/X_0)} = Y_0 \pm t_{\left(\frac{\alpha}{2},n-2\right)}\sqrt{CM_e + \left[\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{S_{xx}}\right]}$$

$Y_0 = a + bX_0$ representando el estimador puntual de la recta de regresión.

$t_{\left(\frac{\alpha}{2},n-2\right)}$ es el valor que se obtiene por la distribución T de Student y "α" corresponde al complemento porcentual del nivel de confianza. Por otro lado, "n-2" corresponde al grado de libertad.

CM_E es el estimador de la varianza.

$\bar{X}$ es la media

El intervalo de confianza muestra un rango de valores dentro del cual se busca que se encuentre el parámetro de interés que en la industria alimentaria corresponde generalmente a la media poblacional, considerando un grado de confianza de 95% (Elías et al., 2010).

Número de consumidores

Los análisis de supervivencia han sido aplicados para estimar el tiempo de vida en anaquel de los alimentos basado en la aceptación o rechazo de muestras con distinto tiempo de almacenamiento (Hough et al., 2006).

El número de panelistas para esta estimación varía entre 50 y 80 y a pesar de que los intervalos de confianza del tiempo de vida en anaquel han sido razonables, no hay un criterio sistemático en la elección del número de consumidores (Stone,2012).

Hough (2003) publicó un artículo describiendo una simulación de estudio para estimar el número de consumidores necesarios para estimar el tiempo de vida basado en estadística del método de supervivencia. El resultado fue presentado en forma de Curvas Operacionales para valores del Parámetro Weibull σ=0.17; σ=0.44; σ=0.71 para supuestos valores de vida en anaquel de 2,3 y 4 en una escala de tiempo adimensional con rango de 0 a 6.

Si un investigador no tiene previo conocimiento del valor de σ del sistema, un valor intermedio de σ=0.44 deberá ser asumido. Y así, el investigador deberá suponer además que el tiempo de vida será cercano al intermedio. (Hoguh, 2007).

Pruebas de Hipótesis

Una prueba de hipótesis es una regla de decisión basada en $X = (X_1, X_2, \ldots, X_n)$ que establece para qué valores de muestreo no se rechaza que H_0 es verdadera y para qué valores se rechaza H_0 y se acepta que H_1 es verdadera.

Prueba de Bondad de Ajuste

Una prueba de bondad de ajuste es un procedimiento estadístico para probar la hipótesis de una función de distribución particular ajusta los datos observados sin especificar una hipótesis alternativa.

El test de Kolmogorov -Smirnov (K-S) es recomendado para determinar la bondad de ajuste y es conveniente realizarlo a un nivel de confiabilidad del 95% (Gacula and Singh, 1984).

La prueba de Anderson-Darling se usa para probar si un conjunto de datos de muestras proviene de una población con una distribución de probabilidad continua específica. Dicha prueba se basa en la comparación de la distribución de probabilidades acumulada empírica (resultados) con la distribución de probabilidades teórica (H_0) (López, 2011).

El test Anderson-Darling se aplica exclusivamente para las distribuciones: Log Normal, Normal, Weibull, Exponencial y Log Logística (Fernández, 2013). Sirve para comparar el ajuste de varias distribuciones para determinar cuál es la mejor. Empero, para concluir que una distribución es la mejor, el estadístico de Anderson-Darling debe ser menor que los otros mencionados. (Fernandez,2013).

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar cuánto es el tiempo de vida en anaquel en cadena de frío de pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, por el método de Weibull.

Objetivo Específicos

Determinar en qué tiempo se llega al límite microbiológico en pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, mantenidas en cadena de frío.

Determinar cómo evolucionan los rechazos en función del tiempo de las pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, mantenidas en cadena de frío.

Determinar cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal.

Determinar la función de distribución acumulativa para estimar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo.

JUSTIFICACIÓN

Debido a la situación problemática que atraviesa una conocida cadena de supermercados de capital extranjero con sede en Lima, con respecto a la comercialización de su producción de alimentos preparados listos para consumir a nivel nacional, es que busca la manera de innovar en todas sus áreas para poder vencer los diversos obstáculos que se le presentan.

Por la rama de la ingeniería, se encuentra en búsqueda de las opciones que les permita vencer la barrera el corto tiempo de vida útil que tienen actualmente las pizzas, el cual es de 3 días. Y es por esto que es que se encuentran en la búsqueda de alternativas de empaque que permitan prolongar la duración de tal manera que se logre ampliar su radio geográfico de comercialización.

Otro beneficio que se busca con este desarrollo es poder reducir las mermas y devoluciones generadas, los cuales, de acuerdo a los indicadores de la compañía bordea el 4% del total de la producción. Esto debido el corto tiempo que tienen para la comercialización debido a que los volúmenes de venta son volátiles.

El estudio se centra en las pizzas de variedad americana debido a que estas son las que representan el mayor volumen de ventas de las comidas listas para servir por parte de la compañía mencionada.

Asimismo, a través de la investigación se busca determinar el tiempo de vida en anaquel de la pizza a través de un método sensorial probabilístico teniendo como condición la inocuidad del alimento lo cual permita al consumidor seguir eligiendo un producto con los mejores atributos que exige el mercado.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

H_0: El método de Weibull permitirá determinar el Tiempo de Vida en Anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible.

H_1: El método de Weibull no permitirá determinar el Tiempo de Vida en Anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible.

Hipótesis Específicas

H_0: Es factible determinar el tiempo de vida en anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible, mediante pruebas microbiológicas.

H_1: No es factible determinar el tiempo de vida en anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible, mediante pruebas microbiológicas.

H_0: Es factible determinar la evolución de los rechazos de las pizzas empacadas en cadena de frío, mediante el método Weibull.

H_1: No es factible determinar la evolución de los rechazos de las pizzas empacadas en cadena de frío, mediante el método Weibull.

H_0: Es factible determinar cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal.

H_1: No es factible determinar cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal.

H_0: Es factible determinar la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo.

H_1: No es factible determinar la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MEDIDA	MÉTODO
General: ¿Cuánto es el tiempo de vida en anaquel en cadena de frío de pizzas empacadas en poliolefina termoencogible, por el método de Weibull?	**General:** Determinar cuánto es el tiempo de vida en anaquel en cadena de frío de pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, por el método de Weibull.	**General:** El método de Weibull permitirá determinar el Tiempo de Vida en Anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible.	**Prueba probabilística Weibull** **Independiente:** *Tiempo:* Es el tiempo que transcurre hasta que el 50% de los consumidores rechaza el producto. **Dependiente:** *Probabilidad de aceptación:* Probabilidad en el que el 50% de los consumidores rechaza el producto.	El resultado Final obtenido estuvo expresado en días y horas para determinar el tiempo de vida en anaquel del producto.	Análisis Microbiológico para asegurar la inocuidad del producto. Técnica sensorial para estimación de vida útil a través del método probabilístico de la Distribución Weibull.
Específico: ¿En qué tiempo se llega al límite microbiológico en pizzas empacadas en poliolefina termoencogible mantenidas en cadena de frío?	**Específico:** Determinar en qué tiempo se llega al límite microbiológico en pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, mantenidas en cadena de frío.	**Específico:** Es factible determinar el tiempo de vida en anaquel de las pizzas empacadas en cadena de frío con poliolefina termoencogible, mediante pruebas microbiológicas.			
Específico: ¿Cómo evolucionan los rechazos en función del tiempo de las pizzas empacadas en poliolefina termoencogible mantenidas en cadena de frío?	**Específico:** Determinar cómo evolucionan los rechazos en función del tiempo de las pizzas, empacadas en poliolefina termoencogible, mantenidas en cadena de frío.	**Específico:** Es factible determinar la evolución de los rechazos de las pizzas empacadas en cadena de frío, mediante el método Weibull.			
Específico: ¿Cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal?	**Específico:** Determinar cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal.	**Específico:** Es factible determinar cuál es el mejor ajuste para la distribución de rechazos evaluando los métodos Weibull, LogNormal, Exponencial y Normal.	**Prueba Microbiológico Independiente:** *Tiempo:* El tiempo que transcurre hasta que se alcanza el límite máximo permitido para mohos y levaduras. **Dependiente:** *Carga Microbiana:* UFC/g (Unidades Formadoras de Colonia / Gramo).		
Específico: ¿Cuál es la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo?	**Específico:** Determinar la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo.	**Específico:** Es factible determinar la función de distribución acumulativa para determinar el tiempo de vida en anaquel al 50% de rechazo.			

MARCO METODOLÓGICO

Metodología

La etapa experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Producción de la compañía, la cual cuenta con laboratorios de proceso climatizados. Además de manejar una receta estándar para la producción y proveedores definidos.

Se manejó dentro de un enfoque cuantitativo realizando las pruebas en el laboratorio de la compañía, el cual cuenta con equipos modernos que permitieron determinar rápidamente los resultados de forma precisa. Por otra parte, para las demás técnicas que involucra un muestreo poblacional se estableció ciertos requisitos que reunieron para el análisis de los resultados.

Paradigma

A través de análisis microbiológicos y pruebas sensoriales se determinó la aceptación del producto en un determinado tiempo, manteniendo la calidad en comparación con un producto preparado al instante que es claramente preferido por los consumidores.

Para poder determinar el tiempo de vida en anaquel de un alimento se debe tener en cuenta 3 aspectos: El microbiológico, fisicoquímico y sensorial los cuales se determinan a través de distintos métodos.

Para la elección del método se tuvo en cuenta la naturaleza del alimento. Por tratarse de un alimento perecedero y de corta vida en anaquel, no hizo falta realizar pruebas de aceleración de vida útil con lo cual se pudo obtener resultados con mayor grado de fiabilidad (Labuza, 2000).

Enfoque

Se tomaron en cuenta evaluaciones sensoriales y microbiológicas de manera cuantitativa para poder determinar de manera objetiva los resultados obtenidos.

Para análisis microbiológico se tomó en cuenta el recuento total, mohos y levaduras y coliformes totales los cuales fueron expresados en Unidades Formadoras de Colonias por gramo (UFC/gr).

Para la evaluación microbiológica se tomaron en cuenta los siguientes atributos: olor, color, sabor, y textura. Para lo cual se determinaron escalas numéricas que permitieron cuantificar cada uno de los atributos y expresarlas en el método experimental.

Método

En el presente proyecto la fase experimental contempló pruebas de pizzas de variedad americana elaborada con una receta pre establecida contenida en un empaque primario determinado, en donde se observó preliminarmente cómo se va dando el crecimiento de microorganismos para lo cual se realizó siembras de recuento total, mohos y levaduras y por último coliformes totales, a medida que trascurren los días, usando una muestra patrón.

A posteriori se realizó la técnica sensorial de determinación de vida útil por método probabilístico utilizando la Distribución de Weibull.

VARIABLES

Prueba Microbiológica

Variable Independiente

Tiempo: El tiempo que transcurre hasta que se alcanza el límite máximo permitido para mohos y levaduras.

Dependiente

Carga Microbiana: UFC/g (Unidades Formadoras de Colonia / Gramo).

Prueba probabilística de Weibull

Variable Independiente

Tiempo: El tiempo que transcurre hasta que el 50% de los consumidores rechaza el producto.

Dependiente

Probabilidad de Aceptación: Probabilidad en la que el 50% de los consumidores rechaza el producto.

POBLACIÓN Y MUESTRAS

Población

La población considerada fueron todas las pizzas listas para el consumo producidas por la conocida compañía.

Muestras

La muestra fueron las pizzas de variedad americana listas para consumir, la cual representa un lote de producción aleatorio.

UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis fueron las pizzas de variedad americana listas para consumir en cadenas de frío, producidas por la compañía, empacadas en material poliolefina termoencogible de 15 micras de espesor.

INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

Instrumentos

Para determinar la vida útil partimos de análisis microbiológicos exigido por la RM N°1020 - 2010/MINSA. Correspondiente a las normas del país de producción.

Para esta prueba se tomó en cuenta un muestreo aleatorio de la producción de pizzas y se llevó a laboratorio para hacer un recuento de MOHOS y LEVADURAS.

Posteriormente se utilizó la prueba sensorial teniendo en cuenta los parámetros mencionados en la referencia bibliográfica: Apariencia, aroma, textura y sabor (Meilgaard, 2007).

Se aplicó la distribución de Weibull para determinar la probabilidad en la que el 50% de los consumidores rechaza el producto.

El test de Kolmogorov- Smirnov se recomienda para determinar la bondad de ajuste de acuerdo con Gacula y Singh (1984).

Técnicas

Aceptabilidad y Validez del instrumento

Para evaluar la aceptación de la unidad de análisis se recurrió a la Escala Hedónica de 9 puntos desarrollada por Peryam y Girardot que se detalla a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Escala Hedónica

Número	Categoría
1	Me disgusta muchísimo
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta poco
5	No gusta Ni disgusta
6	Me gusta poco
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta muchísimo

La confiabilidad, validez y capacidad discriminativa de esta escala fue ensayada en pruebas de aceptación con panelistas tanto en campo como en laboratorio, así como en las encuestas de preferencia de alimentos a gran escala (Peryam et al., 1953).

A través de esta escala, aplicada comúnmente en la industria alimentaria, se determinó el puntaje asignado de cada panelista a las 12 muestras evaluadas.

PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

Procedimiento

Evaluación Microbiológica

Para el análisis microbiológico se tienen en cuenta lo siguiente:

La elaboración de la masa para la pizza se realizó 8 horas antes del armado y decoración de la misma de acuerdo al flujo de proceso que se muestra en la figura 4.
Para el armado y decoración de las pizzas se siguió el flujo de elaboración.
Las muestras empacadas se almacenaron en cámaras de refrigeración (1-4 °C).
Se realizaron evaluaciones sensoriales, fisicoquímicas (pH) y microbiológicos durante el tiempo de vida en anaquel.
El criterio microbiológico utilizado fue MOHOS de acuerdo al ítem 6.1.3 b de la RM N°1020 -2010/MINSA.
A través del Plan HACCP del producto elaborado por la compañía y cadena de frío que recibe el producto, se aseguró la inocuidad del producto.

Evaluación Sensorial

Panelistas

Para el análisis sensorial se tomó en cuenta lo siguiente:

Se definió que las pizzas fuesen evaluadas por 50 **personas** en intervalos de 01 día durante 12 días consecutivos. Según Stone (2012), no hay un criterio sistemático en la elección del número de consumidores, es por esto que tomamos como referencia este valor de acuerdo a la referencia bibliográfica.

Se buscó voluntariamente a los panelistas en los puntos de venta de Pizzas dentro de los locales comerciales. Para esto se tomaron en cuenta consumidores habituales entre 18 y 45 años de edad.
Se coordinó una fecha y hora especifica (11:00 am) a la prueba para lo cual se pidió que no presenten ninguna enfermedad que afecte sus sentidos (gripe, resfrío, bronquitos,

migraña, aftas), disponibilidad del tiempo estimado (15 minutos) para realizar la prueba de manera exhaustiva durante 12 días consecutivos.

Se procedió a programar a los panelistas en citas grupales de 10 individuos para que evalúen cada muestra de pizza correspondiente a un mismo lote en 12 días consecutivos (intervalos de 24 horas).

La cita se dio en las instalaciones del Centro de Producción de la conocida cadena de supermercados, ubicada en El Callao -Perú. Se realizó en la sala de reuniones bajo condiciones exentas de agentes de distracción como lo son el ruido, personas, publicidad que influya en la decisión del panelista al momento de consumir las muestras.

Se procedió a explicar cómo se debía llenar la cartilla de Escala Hedónica de Evaluación.

Muestras

Se tomó una muestra a partir de un lote de producción de un día aleatorio y se almacenó durante 12 días consecutivos, siendo utilizadas para la evaluación sensorial a partir del día 1 (24 horas) desde su elaboración.

Las muestras que fueron evaluadas por los panelistas se encontraban en las condiciones adecuadas listas para su consumo (precalentadas en hornos microondas durante 2 minutos) y servidas en piezas pequeñas de tamaño uniforme (50 gramos).

La evaluación duró en promedio 15 minutos en el cual cada panelista respondió a la encuesta de manera independiente.

Al finalizar la evaluación, se dispuso de procesar los datos obtenidos.

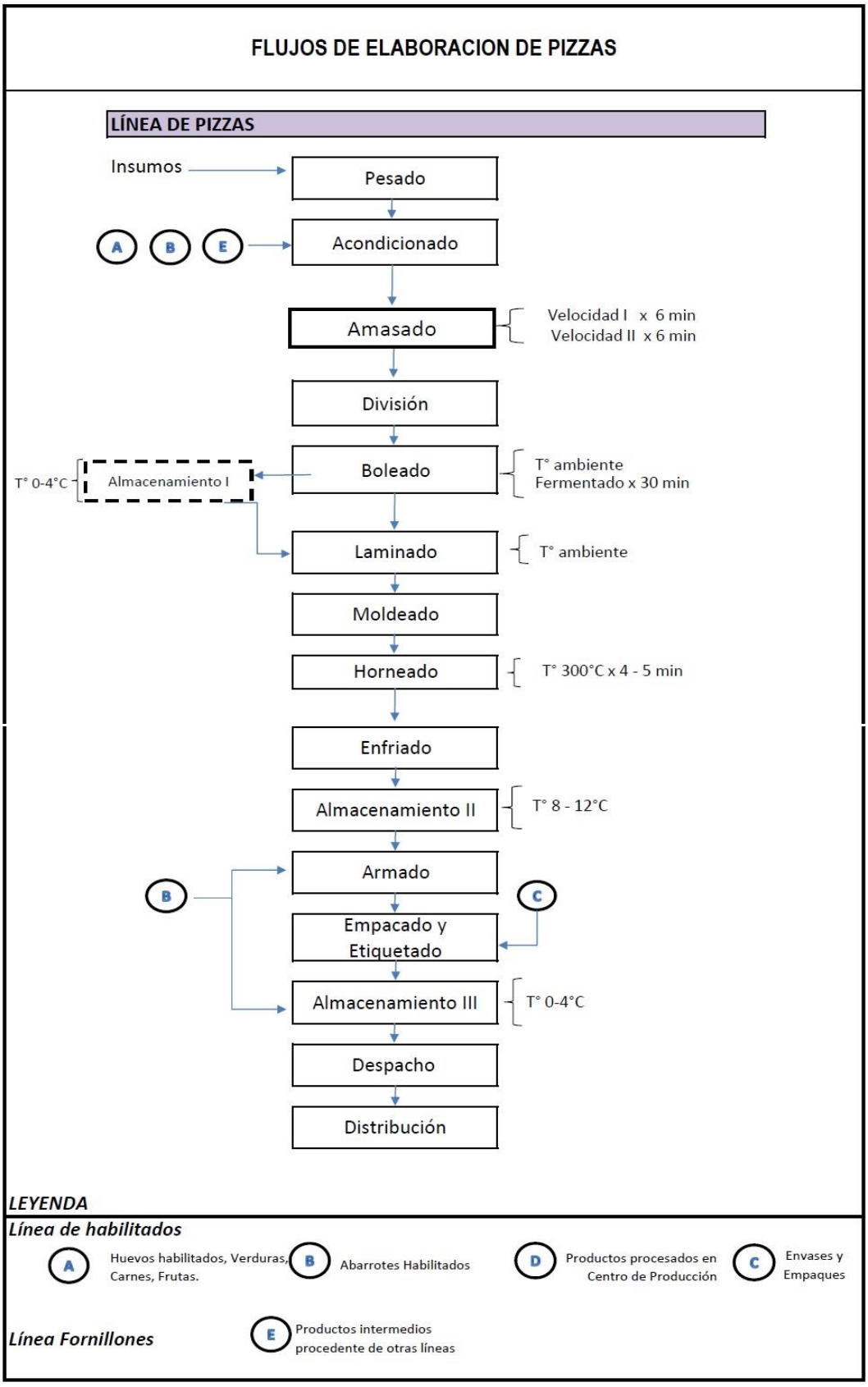


Figura 2. Diagrama de Flujo de Elaboración de Pizzas

Los ingredientes que se utilizaron para la producción de pizzas fueron los siguientes:

Masa para pizza: Harina de Trigo, Huevo, azúcar, leche evaporada, manteca vegetal, levadura, mejorador (Harina de trigo, agente oxidante (E 300 y E 927), enzimas (E 1100), emulsificante (E 472)) y sal.

Mezcla de Queso: Mozzarella (Leche pasteurizada, sal, cuajo, regulador de acidez (E 540)), Cheezerella (Proteína de leche, almidón modificado, mantequilla, sal, emulsificante (E 301), regulador de acidez (E 330)).

Jamón: Carne de cerdo, fécula, proteína de soya, sal, pimienta, ajo. Espesante (E 407) y fostatos (E 450, E 451, E 452).

Salsa para Pizza: Pasta de tomate, cebolla, aceite, albahaca, agua, sal, conservante (E 211) y antioxidante (E 301).

Método de Análisis

Se tomó en cuenta la conformidad en función de los análisis microbiológicos. Para este análisis se tomó como rango de evaluación hasta que el producto alcance el valor crítico “m” de UFC/g que define la Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación mostrado en la tabla 2.

Para dicha evaluación se toma como referencia lo que indica los Criterios Microbiológicos de las Disposiciones Específicas de la “Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, Galletería y Pastelería”, RM N°1020 -2010/MINSA.

Tabla 3. Productos de Panificación, Galletería y Pastelería (**RM N°1020 -2010/MINSA)**

Productos que no requieren refrigeración, con o sin relleno y/o cobertura (pan, galletas, panes enriquecidos o fortificados, tostadas, bizcochos, panetón, queques, obleas, pre-pizza, otros						
Agente Microbiano	**Categoría**	**Clase**	**n**	**c**	**Límite por g**	
					m	**M**
Mohos	2	3	5	2	10^2	10^3
Escherichia coli (*)	6	3	5	1	3	20
Staphylococcus aureus (*)	8	3	5	1	10	10^2
Clostridium Perfringens (**)	8	3	5	1	10	10^2
Salmonella sp. (*)	10	2	5	0	Ausencia / 25g	---
Bacillus cereus (***)	8	3	5	1	10^2	10^4
(*) Para productos con relleno (**) Adicionalmente para productos con rellenos de carne y/o vegetales (***) Para aquellos elaborados con harina de arroz y/o maíz						
Productos que requieren refrigeración, con o sin relleno y/o cobertura (pasteles, tortas, tartas, empanadas, pizzas, otros).						
Agente Microbiano	**Categoría**	**Clase**	**n**	**c**	**Límite por g**	
					m	**M**
Mohos	3	3	5	1	10^2	10^3
Escherichia coli (*)	6	3	5	1	10	20
Staphylococcus aureus (*)	8	3	5	1	10	10^2
Clostridium Perfringens (**)	8	3	5	1	10	10^2
Salmonella sp. (*)	10	2	5	0	Ausencia / 25g	---
Bacillus cereus (***)	8	3	5	1	10^2	10^4
(*) Para aquellos productos con carne, embutidos y otros derivados cárnicos, y/o vegetales. (**) Para aquellos elaborados con harina de arroz y/o maíz.						

Posterior a eso, se tomó los resultados del análisis sensorial obtenido en el mismo periodo de días que el realizado en los análisis microbiológicos.

Muñoz et al. (1992) considera a los valores de 6 a 9 en la Escala Hedónica como aceptados, mientras que los valores menores de 6 se consideraron como rechazados. Es a partir de esta referencia que tomamos dichos valores para determinar si el panelista rechazó o aceptó el producto.

La escala hedónica desarrollada por Peryam y Girardot es utilizada por décadas en los análisis sensoriales de alimentos a nivel internacional. Para esta investigación se definió un puntaje mínimo de 6 para determinar si el consumidor aceptó o rechazó la pizza de variedad americana. Para esto se realizó la prueba piloto con un valor aleatorio de n= 15 panelistas teniendo en cuenta la evaluación a través de la escala Hedónica:

Se realizó el análisis sensorial de una misma pizza en dos ocasiones con 15 panelistas tomadas aleatoriamente, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4. Resultado de Prueba

n	PRUEBA 1 - X	PRUEBA 2 - Y
	Escala 1-9	Escala 1-9
1	8	8
2	7	7
3	8	8
4	9	9
5	8	8
6	8	8
7	9	8
8	8	8
9	8	8
10	8	8
11	8	8
12	8	8
13	9	9
14	8	8
15	8	8
SUMA	**122**	**121**

Aplicando el coeficiente Alfa de Cronbach para determinar la fiabilidad y si es aplicable esta evaluación al producto en estudio, obtenemos los siguientes resultados.

Coeficiente de Relación de Pearson:

$$r = 0.87$$

Confiabilidad (R):

$$R = \frac{2r}{1+r}$$

$$R = 0.93$$

Al tener una confiabilidad muy alta, podemos corroborar que la evaluación de Escala Hedónica es aplicable como instrumento para la investigación.

Una vez determinado el puntaje total y la aceptación y rechazo del producto, se procesaron los datos para poder determinar el tiempo de vida útil mediante el método probabilístico de Weibull.

En el análisis de supervivencia, los datos se analizan utilizando técnicas paramétricas y no paramétricas. El uso de modelos paramétricos proporciona estimaciones más precisas de la función de supervivencia no paramétricas (Gómez, 2001). Entre las funciones de distribución más utilizadas está la de Weibull. Generalmente se utiliza el percentil 50 como el término de la vida útil, y corresponde al tiempo en el cual el 50% de los consumidores rechaza el producto (Hough *et al*., 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados Microbiológicos

Tabla 5. Resumen de Resultados Microbiológicos.

Fecha de Monitoreo	Nombre	Conclusión	Mohos y levaduras	Unidad
3/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 0 R1	**CONFORME**	<10	UFC/g
3/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 0 R2	**CONFORME**	<10	UFC/g
3/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 0 R3	**CONFORME**	<10	UFC/g
3/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 0 R4	**CONFORME**	<10	UFC/g
3/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 0 R5	**CONFORME**	<10	UFC/g
5/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 2 R1	**CONFORME**	6X10^1	UFC/g
5/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 2 R2	**CONFORME**	<10	UFC/g
5/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 2 R3	**CONFORME**	<10	UFC/g
5/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 2 R4	**CONFORME**	1X10^1	UFC/g
5/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 2 R5	**CONFORME**	<10	UFC/g
7/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 4 R1	**CONFORME**	<10	UFC/g
7/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 4 R2	**CONFORME**	<10	UFC/g
7/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 4 R3	**CONFORME**	<10	UFC/g
7/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 4 R4	**CONFORME**	<10	UFC/g
7/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 4 R5	**CONFORME**	<10	UFC/g
12/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 9 R1	**CONFORME**	<10	UFC/g
12/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 9 R2	**CONFORME**	<10	UFC/g
12/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 9 R3	**CONFORME**	<10	UFC/g
12/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 9 R4	**CONFORME**	1x10^1	UFC/g
12/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 9 R5	**CONFORME**	1x10^1	UFC/g
14/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 11 R5	**CONFORME**	2x10^1	UFC/g
14/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 11 R5	**CONFORME**	2x10^1	UFC/g
14/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 11 R5	**CONFORME**	2x10^1	UFC/g
14/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 11 R5	**CONFORME**	2x10^1	UFC/g
14/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 11 R5	**CONFORME**	2x10^1	UFC/g
16/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 13 R5	**CONFORME**	6x10^1	UFC/g
16/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 13 R5	**CONFORME**	6x10^1	UFC/g
16/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 13 R5	**CONFORME**	6x10^1	UFC/g
16/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 13 R5	**CONFORME**	6x10^1	UFC/g
16/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 13 R5	**CONFORME**	6x10^1	UFC/g
17/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 14 R5	**NO CONFORME**	1x10^2	UFC/g
17/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 14 R5	**NO CONFORME**	1x10^2	UFC/g
17/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 14 R5	**NO CONFORME**	1x10^2	UFC/g
17/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 14 R5	**NO CONFORME**	1x10^2	UFC/g
17/06/2016	PIZZA AMERICANA BLEND MM - DIA 14 R5	**NO CONFORME**	1x10^2	UFC/g

Tabla 6. Criterio de referencia

			Límite por g. ó mL	
Agente microbiano	**n**	**c**	**m**	**M**
Mohos	5	1	10^{2}	10^{3}

Siendo:

n: el número de muestras analizadas.

c: el número máximo de unidades defectuosas aceptadas.

m: es un valor crítico, arriba de la cual, la unidad se encuentra defectuosa.

M: Los valores de recuento microbiano superior a “M” son considerados inaceptables. El alimento se considera un riesgo para la salud.

A partir del análisis microbiológico, se determinó que el tiempo de vida útil de las pizzas de variedad americana mantenidas en cadena de frío (0-4°C) empacadas en poliolefina termoencogible es de 14 días, siendo la presencia de mohos el principal factor de no conformidad de acuerdo a la norma regida por la RM N°1020 -2010/MINSA establecida en el Perú, país de producción y comercialización.

El análisis microbiológico sirvió como referencia para tener un límite de tiempo al cual no deben exceder los resultados de los demás análisis (sensoriales, físico-químico).

Rechazo de los consumidores en función del tiempo

Teniendo en cuenta la puntuación definida por la escala hedónica se obtuvieron los siguientes resultados para 50 panelistas para una misma variedad de pizza en 12 días de vida en anaquel bajo cadena de frío:

Tabla 7. Resultados de la evaluación Sensorial

N°	DÍA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5	4
2	8	8	8	8	8	7	7	6	5	5	5	4
3	9	9	8	7	7	7	6	6	5	5	5	5
4	8	8	8	8	8	7	6	6	6	5	5	5
5	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
6	7	7	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4
7	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	5	5
8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6
9	8	8	7	7	7	7	7	6	6	5	5	5
10	8	8	8	8	8	7	7	6	6	6	5	5
11	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5
12	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5
13	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6	5	5
14	9	9	8	8	7	7	7	6	6	5	5	5
15	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5
16	8	8	8	8	8	8	7	7	6	5	5	5
17	8	8	8	6	6	6	5	5	5	5	5	4
18	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
19	8	8	8	8	7	7	7	6	6	1	5	5
20	8	8	8	8	7	7	7	7	6	5	5	5
21	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6
22	8	8	8	8	8	7	7	7	6	5	5	5
23	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5
24	8	8	8	8	8	8	8	7	7	5	5	5
25	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4
26	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5
27	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	6
28	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6

29	8	7	7	6	6	6	5	5	4	4	4	4
30	8	8	8	8	7	7	7	6	5	5	5	5
31	9	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
32	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	5	5
33	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	5	5
34	8	8	8	7	7	7	7	6	6	5	5	5
35	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6	5	5
36	9	9	8	7	7	7	7	6	6	5	5	5
37	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
38	9	9	8	8	8	8	7	7	6	5	5	5
39	9	9	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
40	8	8	8	8	8	8	7	7	7	5	5	5
41	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	5
42	8	8	8	8	7	7	7	7	6	5	5	5
43	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	5
44	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5
45	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	5	5
46	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5
47	8	8	8	7	7	7	6	6	5	5	5	4
48	8	8	7	7	7	6	6	5	5	5	5	5
49	8	8	8	8	7	7	7	7	6	5	5	5
50	8	8	8	8	7	7	7	6	6	5	5	5

A partir de la evaluación sensorial realizada por los panelistas se procedió a tabular los datos considerando la puntuación mayor o igual 6 como aceptado por el consumidor y los valores menores a 6 como rechazado.

Tabla 8. Aceptación y rechazo de los consumidores

N°	DÍA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
25	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
46	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
48	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Rechazos / Día	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**3**	**5**	**12**	**34**	**42**	**46**
Total de Rechazos	**143**											

Considerando:

0	Aceptación
1	Rechazo

En la figura 4 se muestra cómo se inició el rechazo de las pizzas por parte de los consumidores a partir del día 7 desde su preparación y se incrementa a medida que pasa el tiempo (expresado en días).

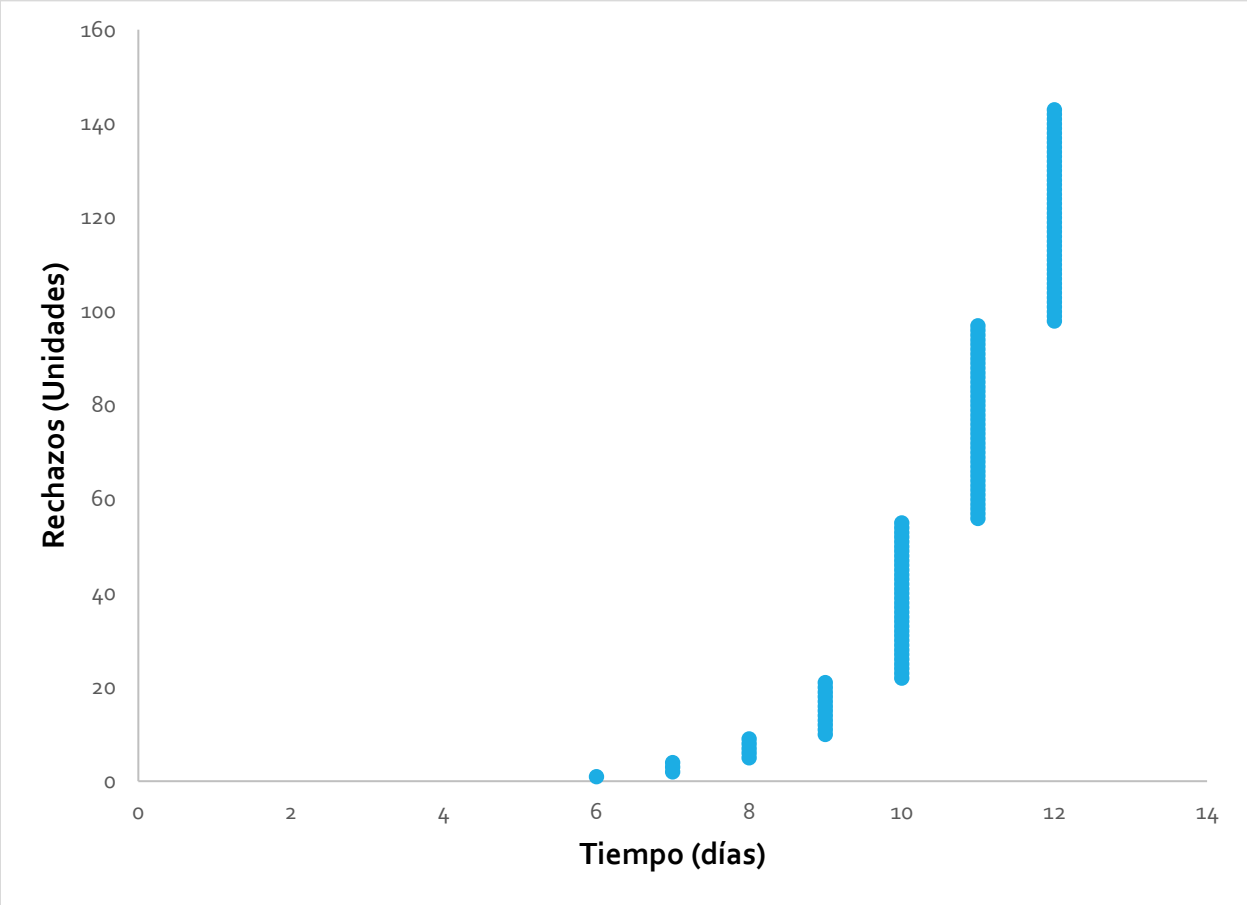


Figura 3. Evolución de los rechazos de pizzas empacadas en cadena de frío por la Distribución de Weibull

El rechazo de los consumidores aumentó conforme se prolongaba el tiempo de almacenamiento de la pizza de variedad americana en cadena de frío (0-4°C).

Ajuste de Correlación

Con el uso del programa MINITAB, se determinó el coeficiente de correlación para determinar el mejor ajuste entre las cuatro distribuciones:

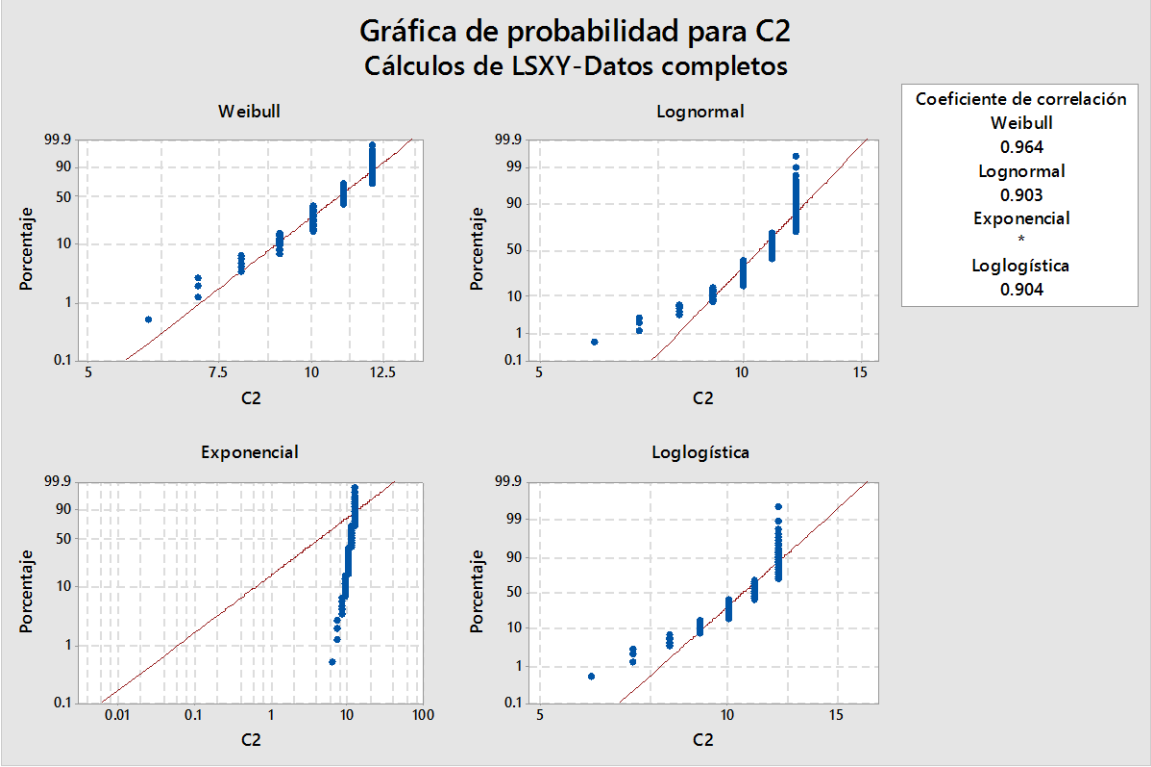


Figura 4. Aproximación gráfica del mejor ajuste entre las cuatro distribuciones

De este modo, se obtuvo que existe un mayor coeficiente de correlación mediante la Distribución Weibull, con un valor de R = 0.964.

Partiendo del coeficiente de Correlación (R), se halló el coeficiente de Determinación (R^2):

$$R^2 = 0.93$$

Esto mostró que el rechazo de las pizzas es debido en un 93% del tiempo que transcurre.

Obtención de los parámetros de la Distribución Weibull

Formando una regresión lineal a partir de los datos se obtuvo una función tomando como puntos de dispersión a los valores del cuadro mostrado en la tabla 3.

En donde la columna $ln\left\{ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right\}$ correspondió al eje X mientras los valores de $ln(t)$ correspondieron al eje Y.

Tabla 9. Regresión Lineal

Día de rechazó (t)	Número de rechazos	Número de rechazos acumulados	Valores Medios Clasificados Median Rank F(t)	$\frac{1}{1-F(t)}$	$ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]$	$ln\left\{ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right\}$	$ln(t)$
6	1	1	0.004881	1.004905	0.004893	-5.319867	1.791759
7	1	2	0.011855	1.011997	0.011926	-4.429053	1.945910
7	1	3	0.018828	1.019190	0.019008	-3.962897	1.945910
7	1	4	0.025802	1.026485	0.026141	-3.644263	1.945910
8	1	5	0.032775	1.033886	0.033325	-3.401459	2.079442
8	1	6	0.039749	1.041394	0.040561	-3.204960	2.079442
8	1	7	0.046722	1.049012	0.047849	-3.039701	2.079442
8	1	8	0.053696	1.056743	0.055191	-2.896949	2.079442
8	1	9	0.060669	1.064588	0.062588	-2.771184	2.079442
9	1	10	0.067643	1.072550	0.070039	-2.658697	2.197225
9	1	11	0.074616	1.080633	0.077547	-2.556871	2.197225
9	1	12	0.081590	1.088838	0.085111	-2.463795	2.197225
9	1	13	0.088563	1.097169	0.092733	-2.378028	2.197225
9	1	14	0.095537	1.105628	0.100414	-2.298455	2.197225
9	1	15	0.102510	1.114219	0.108154	-2.224201	2.197225
9	1	16	0.109484	1.122944	0.115954	-2.154560	2.197225
9	1	17	0.116457	1.131807	0.123816	-2.088960	2.197225
9	1	18	0.123431	1.140811	0.131740	-2.026926	2.197225
9	1	19	0.130404	1.149960	0.139727	-1.968064	2.197225
9	1	20	0.137378	1.159256	0.147779	-1.912040	2.197225
9	1	21	0.144351	1.168704	0.155896	-1.858569	2.197225
10	1	22	0.151325	1.178307	0.164079	-1.807408	2.302585
10	1	23	0.158298	1.188070	0.172330	-1.758345	2.302585
10	1	24	0.165272	1.197995	0.180649	-1.711198	2.302585
10	1	25	0.172245	1.208088	0.189039	-1.665804	2.302585
10	1	26	0.179219	1.218352	0.197499	-1.622022	2.302585
10	1	27	0.186192	1.228792	0.206031	-1.579727	2.302585
10	1	28	0.193166	1.239412	0.214637	-1.538806	2.302585
10	1	29	0.200139	1.250218	0.223318	-1.499159	2.302585
10	1	30	0.207113	1.261214	0.232075	-1.460697	2.302585
10	1	31	0.214086	1.272405	0.240909	-1.423338	2.302585
10	1	32	0.221060	1.283796	0.249821	-1.387010	2.302585
10	1	33	0.228033	1.295393	0.258814	-1.351645	2.302585
10	1	34	0.235007	1.307201	0.267889	-1.317184	2.302585
10	1	35	0.241980	1.319227	0.277046	-1.283571	2.302585
10	1	36	0.248954	1.331476	0.286288	-1.250756	2.302585

10	1	37	0.255927	1.343955	0.295617	-1.218691	2.302585
10	1	38	0.262901	1.356670	0.305033	-1.187335	2.302585
10	1	39	0.269874	1.369628	0.314539	-1.156648	2.302585
10	1	40	0.276848	1.382835	0.324136	-1.126593	2.302585
10	1	41	0.283821	1.396300	0.333826	-1.097136	2.302585
10	1	42	0.290795	1.410029	0.343611	-1.068246	2.302585
10	1	43	0.297768	1.424032	0.353492	-1.039894	2.302585
10	1	44	0.304742	1.438315	0.363472	-1.012052	2.302585
10	1	45	0.311715	1.452888	0.373553	-0.984695	2.302585
10	1	46	0.318689	1.467758	0.383736	-0.957800	2.302585
10	1	47	0.325662	1.482937	0.394025	-0.931342	2.302585
10	1	48	0.332636	1.498433	0.404420	-0.905302	2.302585
10	1	49	0.339609	1.514256	0.414924	-0.879660	2.302585
10	1	50	0.346583	1.530416	0.425540	-0.854397	2.302585
10	1	51	0.353556	1.546926	0.436269	-0.829495	2.302585
10	1	52	0.360530	1.563795	0.447116	-0.804938	2.302585
10	1	53	0.367503	1.581036	0.458081	-0.780710	2.302585
10	1	54	0.374477	1.598662	0.469167	-0.756796	2.302585
10	1	55	0.381450	1.616685	0.480378	-0.733182	2.302585
11	1	56	0.388424	1.635120	0.491716	-0.709854	2.397895
11	1	57	0.395397	1.653979	0.503184	-0.686799	2.397895
11	1	58	0.402371	1.673279	0.514785	-0.664006	2.397895
11	1	59	0.409344	1.693034	0.526522	-0.641462	2.397895
11	1	60	0.416318	1.713262	0.538399	-0.619155	2.397895
11	1	61	0.423291	1.733978	0.550418	-0.597077	2.397895
11	1	62	0.430265	1.755202	0.562584	-0.575215	2.397895
11	1	63	0.437238	1.776952	0.574899	-0.553560	2.397895
11	1	64	0.444212	1.799247	0.587368	-0.532103	2.397895
11	1	65	0.451185	1.822109	0.599995	-0.510834	2.397895
11	1	66	0.458159	1.845560	0.612783	-0.489745	2.397895
11	1	67	0.465132	1.869622	0.625736	-0.468826	2.397895
11	1	68	0.472106	1.894320	0.638860	-0.448070	2.397895
11	1	69	0.479079	1.919679	0.652158	-0.427469	2.397895
11	1	70	0.486053	1.945726	0.665635	-0.407014	2.397895
11	1	71	0.493026	1.972490	0.679297	-0.386698	2.397895
11	1	72	0.500000	2.000000	0.693147	-0.366513	2.397895
11	1	73	0.506974	2.028289	0.707192	-0.346453	2.397895
11	1	74	0.513947	2.057389	0.721438	-0.326509	2.397895
11	1	75	0.520921	2.087336	0.735889	-0.306676	2.397895
11	1	76	0.527894	2.118168	0.750552	-0.286947	2.397895
11	1	77	0.534868	2.149925	0.765433	-0.267314	2.397895
11	1	78	0.541841	2.182648	0.780539	-0.247771	2.397895
11	1	79	0.548815	2.216383	0.795877	-0.228311	2.397895

11	1	80	0.555788	2.251177	0.811453	-0.208928	2.397895
11	1	81	0.562762	2.287081	0.827276	-0.189616	2.397895
11	1	82	0.569735	2.324149	0.843354	-0.170368	2.397895
11	1	83	0.576709	2.362438	0.859694	-0.151178	2.397895
11	1	84	0.583682	2.402010	0.876306	-0.132040	2.397895
11	1	85	0.590656	2.442930	0.893198	-0.112947	2.397895
11	1	86	0.597629	2.485269	0.910381	-0.093892	2.397895
11	1	87	0.604603	2.529101	0.927864	-0.074870	2.397895
11	1	88	0.611576	2.574506	0.945658	-0.055875	2.397895
11	1	89	0.618550	2.621572	0.963774	-0.036898	2.397895
11	1	90	0.625523	2.670391	0.982225	-0.017935	2.397895
11	1	91	0.632497	2.721063	1.001022	0.001022	2.397895
11	1	92	0.639470	2.773694	1.020180	0.019979	2.397895
11	1	93	0.646444	2.828402	1.039712	0.038944	2.397895
11	1	94	0.653417	2.885312	1.059633	0.057923	2.397895
11	1	95	0.660391	2.944559	1.079959	0.076923	2.397895
11	1	96	0.667364	3.006289	1.100707	0.095952	2.397895
11	1	97	0.674338	3.070664	1.121894	0.115018	2.397895
12	1	98	0.681311	3.137856	1.143540	0.134128	2.484907
12	1	99	0.688285	3.208054	1.165664	0.153291	2.484907
12	1	100	0.695258	3.281465	1.188290	0.172515	2.484907
12	1	101	0.702232	3.358314	1.211439	0.191809	2.484907
12	1	102	0.709205	3.438849	1.235137	0.211182	2.484907
12	1	103	0.716179	3.523342	1.259410	0.230643	2.484907
12	1	104	0.723152	3.612091	1.284287	0.250203	2.484907
12	1	105	0.730126	3.705426	1.309798	0.269873	2.484907
12	1	106	0.737099	3.803714	1.335978	0.289663	2.484907
12	1	107	0.744073	3.907357	1.362861	0.309586	2.484907
12	1	108	0.751046	4.016807	1.390487	0.329654	2.484907
12	1	109	0.758020	4.132565	1.418898	0.349881	2.484907
12	1	110	0.764993	4.255193	1.448140	0.370280	2.484907
12	1	111	0.771967	4.385321	1.478263	0.390868	2.484907
12	1	112	0.778940	4.523659	1.509321	0.411660	2.484907
12	1	113	0.785914	4.671010	1.541375	0.432675	2.484907
12	1	114	0.792887	4.828283	1.574491	0.453932	2.484907
12	1	115	0.799861	4.996516	1.608741	0.475452	2.484907
12	1	116	0.806834	5.176895	1.644206	0.497257	2.484907
12	1	117	0.813808	5.370787	1.680974	0.519374	2.484907
12	1	118	0.820781	5.579767	1.719147	0.541828	2.484907
12	1	119	0.827755	5.805668	1.758835	0.564651	2.484907
12	1	120	0.834728	6.050633	1.800163	0.587877	2.484907
12	1	121	0.841702	6.317181	1.843273	0.611543	2.484907
12	1	122	0.848675	6.608295	1.888326	0.635691	2.484907

12	1	123	0.855649	6.927536	1.935504	0.660368	2.484907
12	1	124	0.862622	7.279188	1.985019	0.685629	2.484907
12	1	125	0.869596	7.668449	2.037114	0.711534	2.484907
12	1	126	0.876569	8.101695	2.092073	0.738156	2.484907
12	1	127	0.883543	8.586826	2.150229	0.765574	2.484907
12	1	128	0.890516	9.133758	2.211977	0.793887	2.484907
12	1	129	0.897490	9.755102	2.277790	0.823206	2.484907
12	1	130	0.904463	10.467153	2.348242	0.853667	2.484907
12	1	131	0.911437	11.291339	2.424036	0.885434	2.484907
12	1	132	0.918410	12.256410	2.506049	0.918707	2.484907
12	1	133	0.925384	13.401869	2.595394	0.953738	2.484907
12	1	134	0.932357	14.783505	2.693512	0.990846	2.484907
12	1	135	0.939331	16.482759	2.802315	1.030446	2.484907
12	1	136	0.946304	18.623377	2.924418	1.073095	2.484907
12	1	137	0.953278	21.402985	3.063530	1.119568	2.484907
12	1	138	0.960251	25.157895	3.225172	1.170986	2.484907
12	1	139	0.967225	30.510638	3.418075	1.229078	2.484907
12	1	140	0.974198	38.756757	3.657305	1.296727	2.484907
12	1	141	0.981172	53.111111	3.972386	1.379367	2.484907
12	1	142	0.988145	84.352941	4.435010	1.489530	2.484907
12	1	143	0.995119	204.857143	5.322313	1.671908	2.484907

En la figura 6 se observó la función lineal de la distribución acumulativa de Weibull, siendo expresada de la siguiente manera:

$$\ln(t) = 0.1008 \ln H(t) + 2.419$$

Donde la pendiente “b” = 0.1008, mientras que la intersección “a” es igual a 2.419.

A partir de esta función es que se obtuvieron los parámetros α y β:

$$2.419 = ln\ \alpha$$

$$0.1008 = \frac{1}{\beta}$$

Siendo finalmente:

$$\alpha = 11.235$$

$$\beta = 9.9206$$

Al ser β>2 podemos afirmar que la función de riesgo es creciente y que además tiene la característica de crecer lentamente al principio y de manera rápida posteriormente.

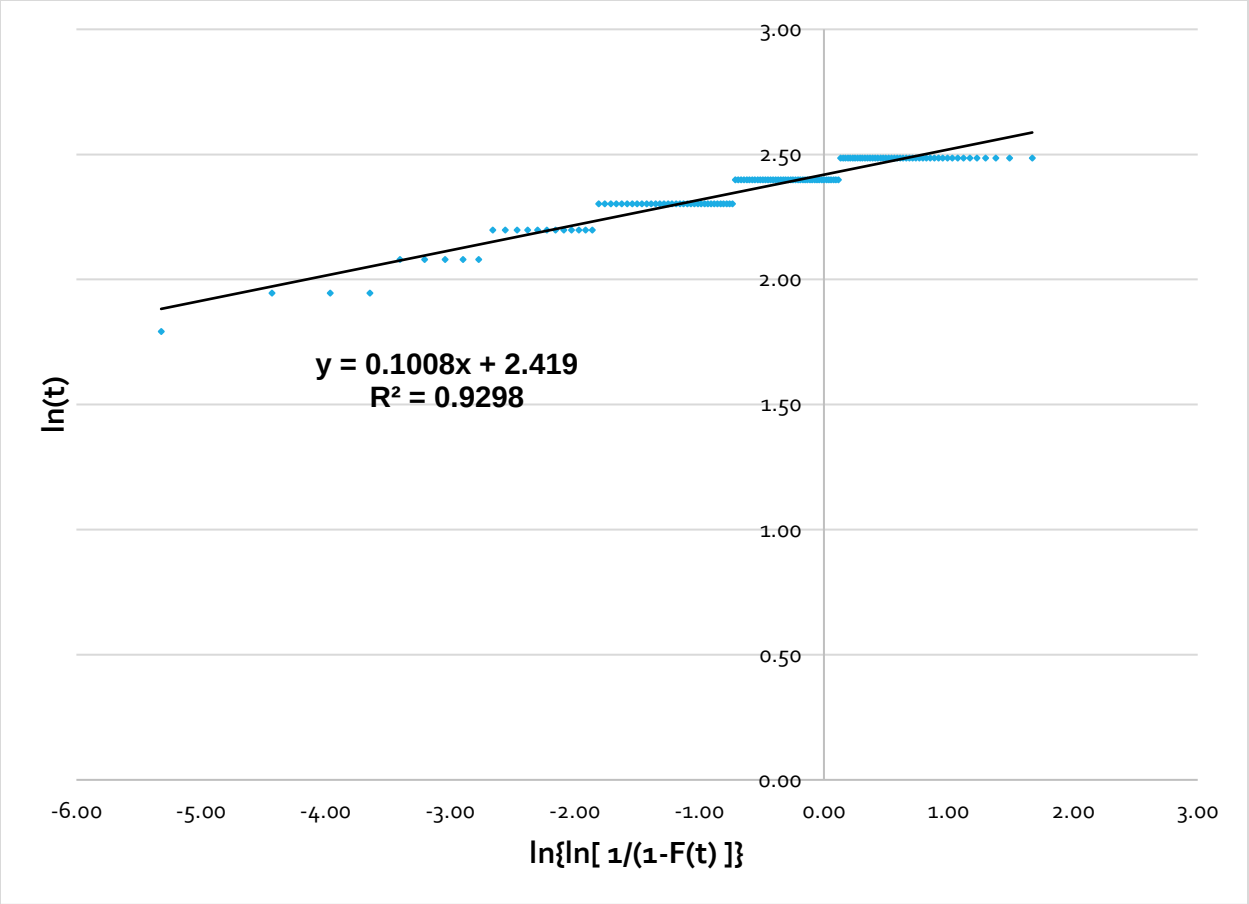


Figura 5. Función Lineal de Weibull

Estimación de Tiempo de Vida

Tomando como referencia la investigación de Ocampo (2003), se utilizaron los parámetros hallados en la ecuación:

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

Siendo:

$$E\,(t) = 11.235\, \Gamma\left[1 + \frac{1}{9.9206}\right]$$

La función gamma Γ [1.108] = 0.9510

De este modo:

$$\boldsymbol{E(t) = 10.68\ días}$$

El tiempo de vida en anaquel promedio fue de 10.68 días. Siendo este valor estimado por la interacción del alimento con el consumidor según Hough et al. (2003).

Expresado en días y horas para mayor precisión se tuvo:

E (t) = 10 días y 16 horas

A partir del valor hallado, se determinó que el tiempo de vida en anaquel del producto fue limitado por el análisis sensorial, el cual fue menor que el análisis microbiológico realizado inicialmente.

En comparación con el empaque anterior, en el cual se maneja un tiempo de vida en anaquel de 5 días, se corrobora que con la poliolefina se logró alcanzar en promedio hasta 5 días adicionales, con lo cual se permite ampliar el campo geográfico de comercialización mencionado como situación problemática para la compañía.

Intervalo de Confianza

Se aplicó la fórmula estadística para regresión simple de Gutiérrez y de la Vara (2008):

$$E_{(Y_0/X_0)} = Y_0 \pm t_{\left(\frac{\alpha}{2},n-2\right)}\sqrt{CM_e \left[\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{S_{xx}}\right]}$$

Para una significancia del 95% se calculó el intervalo de confianza para la inferencia del valor medio dando como resultado que: 10.48 ≤ 10.68 ≤10.89; es decir, se tiene un 95% de probabilidad de que el tiempo de vida útil se encuentre entre 10.48 y 10.89.

Lo anterior significa que pasados 10.68 días de almacenamiento en cadena de frío (de 1°C a 4°C) las pizzas empacadas en poliolefina tendrán una probabilidad de 95% de ser rechazado por el 50% de los consumidores.

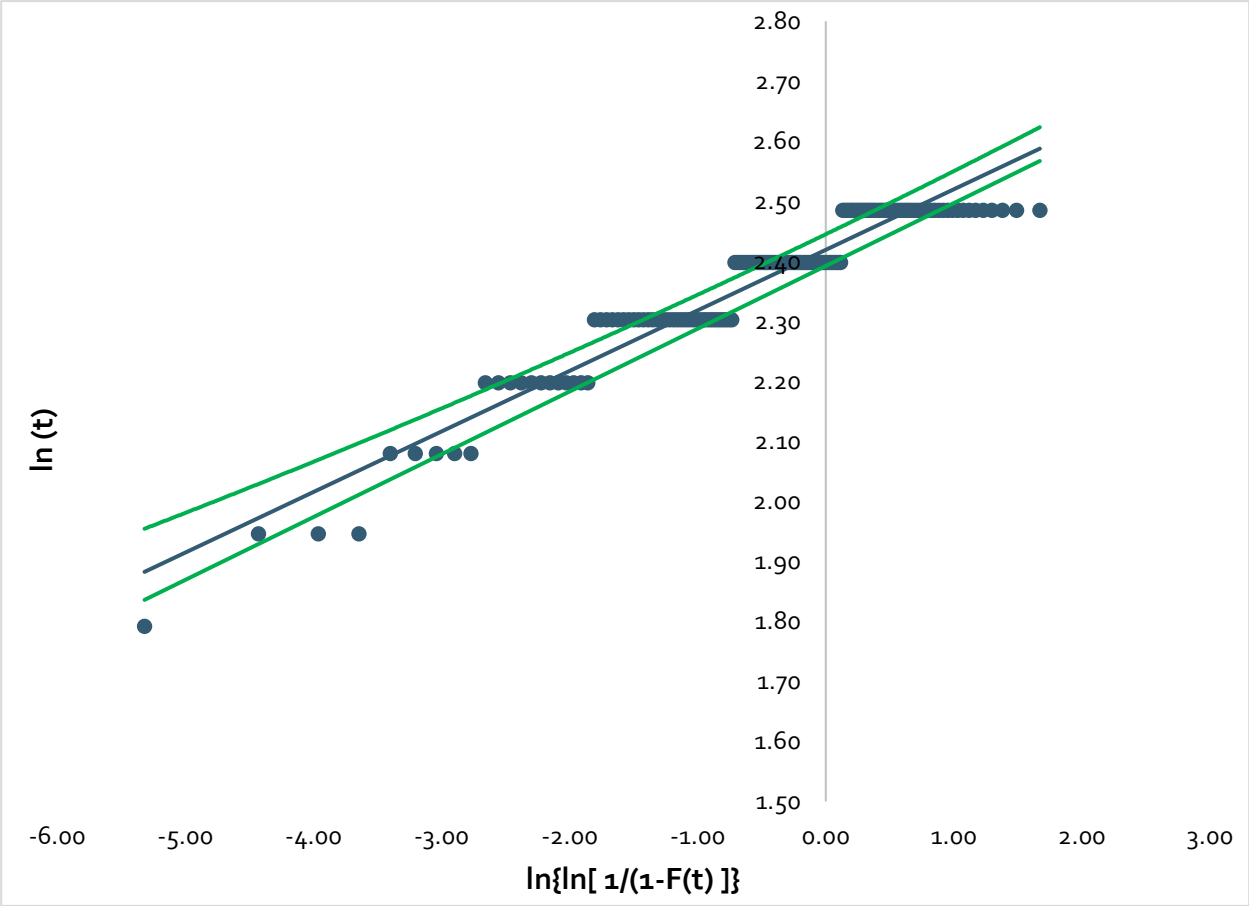


Figura 6. Curvas del intervalo de Confianza para la función Linealizada de Weibull

En la figura 7 se denotó cómo crece y decrece la diferencia entre los intervalos con respecto al valor hallado, encontrando su punto más cercano en la intersección con el eje X.

Bondad de Ajuste

Tabla 10. Determinación de Bondad de Ajuste

Día (t)	Frecuencia Esperada (Fe) $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$	Frecuencia Observada (Fo)	Diferencia Absoluta (Fe- Fo)	Orden de Menor a Mayor
6	0.001982	0.004881	0.002899	0.001982
7	0.009114	0.011855	0.002741	0.009114
7	0.009114	0.018828	0.009714	0.009114
7	0.009114	0.025802	0.016688	0.009114
8	0.033850	0.032775	0.001075	0.031701
8	0.033850	0.039749	0.005899	0.033850
8	0.033850	0.046722	0.012872	0.033850
8	0.033850	0.053696	0.019846	0.033850
8	0.033850	0.060669	0.026819	0.033850
9	0.104870	0.067643	0.037227	0.030416
9	0.104870	0.074616	0.030253	0.044363
9	0.104870	0.081590	0.023280	0.058310
9	0.104870	0.088563	0.016306	0.072257
9	0.104870	0.095537	0.009333	0.086204
9	0.104870	0.102510	0.002359	0.100151
9	0.104870	0.109484	0.004614	0.104870
9	0.104870	0.116457	0.011588	0.104870
9	0.104870	0.123431	0.018561	0.104870
9	0.104870	0.130404	0.025535	0.104870
9	0.104870	0.137378	0.032508	0.104870
9	0.104870	0.144351	0.039482	0.104870
10	0.270274	0.151325	0.118949	0.032376
10	0.270274	0.158298	0.111975	0.046323
10	0.270274	0.165272	0.105002	0.060270
10	0.270274	0.172245	0.098028	0.074217
10	0.270274	0.179219	0.091055	0.088164
10	0.270274	0.186192	0.084081	0.102111
10	0.270274	0.193166	0.077108	0.116058
10	0.270274	0.200139	0.070134	0.130005
10	0.270274	0.207113	0.063161	0.143952
10	0.270274	0.214086	0.056187	0.157899
10	0.270274	0.221060	0.049214	0.171846
10	0.270274	0.228033	0.042240	0.185793
10	0.270274	0.235007	0.035267	0.199740
10	0.270274	0.241980	0.028293	0.213687
10	0.270274	0.248954	0.021320	0.227634

10	0.270274	0.255927	0.014346	0.241581
10	0.270274	0.262901	0.007373	0.255528
10	0.270274	0.269874	0.000399	0.269475
10	0.270274	0.276848	0.006574	0.270274
10	0.270274	0.283821	0.013548	0.270274
10	0.270274	0.290795	0.020521	0.270274
10	0.270274	0.297768	0.027495	0.270274
10	0.270274	0.304742	0.034468	0.270274
10	0.270274	0.311715	0.041442	0.270274
10	0.270274	0.318689	0.048415	0.270274
10	0.270274	0.325662	0.055389	0.270274
10	0.270274	0.332636	0.062362	0.270274
10	0.270274	0.339609	0.069336	0.270274
10	0.270274	0.346583	0.076309	0.270274
10	0.270274	0.353556	0.083283	0.270274
10	0.270274	0.360530	0.090256	0.270274
10	0.270274	0.367503	0.097230	0.270274
10	0.270274	0.374477	0.104203	0.270274
10	0.270274	0.381450	0.111177	0.270274
11	0.555628	0.388424	0.167204	0.221220
11	0.555628	0.395397	0.160231	0.235167
11	0.555628	0.402371	0.153257	0.249114
11	0.555628	0.409344	0.146284	0.263061
11	0.555628	0.416318	0.139310	0.277008
11	0.555628	0.423291	0.132337	0.290955
11	0.555628	0.430265	0.125363	0.304902
11	0.555628	0.437238	0.118389	0.318849
11	0.555628	0.444212	0.111416	0.332796
11	0.555628	0.451185	0.104442	0.346743
11	0.555628	0.458159	0.097469	0.360690
11	0.555628	0.465132	0.090495	0.374637
11	0.555628	0.472106	0.083522	0.388584
11	0.555628	0.479079	0.076548	0.402531
11	0.555628	0.486053	0.069575	0.416478
11	0.555628	0.493026	0.062601	0.430425
11	0.555628	0.500000	0.055628	0.444372
11	0.555628	0.506974	0.048654	0.458319
11	0.555628	0.513947	0.041681	0.472266
11	0.555628	0.520921	0.034707	0.486213
11	0.555628	0.527894	0.027734	0.500160
11	0.555628	0.534868	0.020760	0.514107
11	0.555628	0.541841	0.013787	0.528054
11	0.555628	0.548815	0.006813	0.542001

11	0.555628	0.555788	0.000160	0.555628
11	0.555628	0.562762	0.007134	0.555628
11	0.555628	0.569735	0.014107	0.555628
11	0.555628	0.576709	0.021081	0.555628
11	0.555628	0.583682	0.028054	0.555628
11	0.555628	0.590656	0.035028	0.555628
11	0.555628	0.597629	0.042001	0.555628
11	0.555628	0.604603	0.048975	0.555628
11	0.555628	0.611576	0.055948	0.555628
11	0.555628	0.618550	0.062922	0.555628
11	0.555628	0.625523	0.069895	0.555628
11	0.555628	0.632497	0.076869	0.555628
11	0.555628	0.639470	0.083842	0.555628
11	0.555628	0.646444	0.090816	0.555628
11	0.555628	0.653417	0.097789	0.555628
11	0.555628	0.660391	0.104763	0.555628
11	0.555628	0.667364	0.111736	0.555628
11	0.555628	0.674338	0.118710	0.555628
12	0.853818	0.681311	0.172507	0.508804
12	0.853818	0.688285	0.165533	0.522751
12	0.853818	0.695258	0.158560	0.536698
12	0.853818	0.702232	0.151586	0.550645
12	0.853818	0.709205	0.144613	0.564592
12	0.853818	0.716179	0.137639	0.578539
12	0.853818	0.723152	0.130666	0.592486
12	0.853818	0.730126	0.123692	0.606433
12	0.853818	0.737099	0.116719	0.620380
12	0.853818	0.744073	0.109745	0.634327
12	0.853818	0.751046	0.102772	0.648274
12	0.853818	0.758020	0.095798	0.662221
12	0.853818	0.764993	0.088825	0.676168
12	0.853818	0.771967	0.081851	0.690115
12	0.853818	0.778940	0.074878	0.704062
12	0.853818	0.785914	0.067904	0.718009
12	0.853818	0.792887	0.060931	0.731956
12	0.853818	0.799861	0.053957	0.745903
12	0.853818	0.806834	0.046984	0.759850
12	0.853818	0.813808	0.040010	0.773797
12	0.853818	0.820781	0.033037	0.787744
12	0.853818	0.827755	0.026063	0.801691
12	0.853818	0.834728	0.019090	0.815638
12	0.853818	0.841702	0.012116	0.829585
12	0.853818	0.848675	0.005143	0.843532

12	0.853818	0.855649	0.001831	0.853818
12	0.853818	0.862622	0.008804	0.853818
12	0.853818	0.869596	0.015778	0.853818
12	0.853818	0.876569	0.022751	0.853818
12	0.853818	0.883543	0.029725	0.853818
12	0.853818	0.890516	0.036698	0.853818
12	0.853818	0.897490	0.043672	0.853818
12	0.853818	0.904463	0.050645	0.853818
12	0.853818	0.911437	0.057619	0.853818
12	0.853818	0.918410	0.064592	0.853818
12	0.853818	0.925384	0.071566	0.853818
12	0.853818	0.932357	0.078539	0.853818
12	0.853818	0.939331	0.085513	0.853818
12	0.853818	0.946304	0.092486	0.853818
12	0.853818	0.953278	0.099460	0.853818
12	0.853818	0.960251	0.106433	0.853818
12	0.853818	0.967225	0.113407	0.853818
12	0.853818	0.974198	0.120380	0.853818
12	0.853818	0.981172	0.127354	0.853818
12	0.853818	0.988145	0.134327	0.853818
12	0.853818	0.995119	0.141301	**0.853818**

Diferencia mayor encontrada = 0.853818

Dato tabulado Kolmogorov- Smirnov = 0.113729

n	α = 5%
Aproximado para n > 50	$\frac{1.36}{\sqrt{143}}$

El valor para n se encontró en el test de Kolmogorov-Smirnov en el Anexo 2.

De acuerdo con el resultado obtenido, se observó que la mayor diferencia absoluta encontrada fue de 0.853818 mientras que el dato tabular de Kolmogorov-Smirnov fue de 0.113729 con un alfa de 5%. Debido a que la diferencia mayor encontrada es superior numéricamente al valor tabulado se dedujo que la distribución no se ajusta a la de Weibull.

Estadístico Anderson-Darling

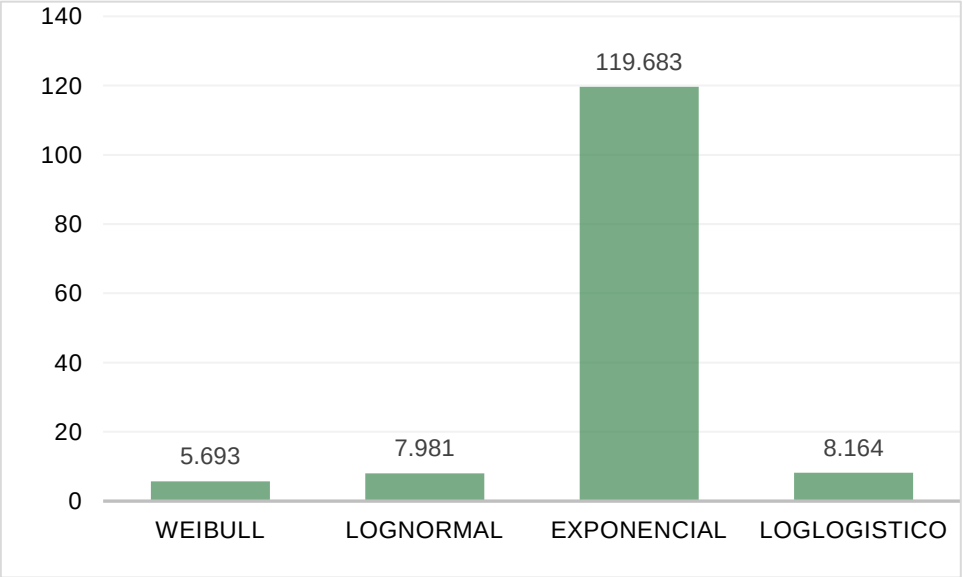


Figura 7. Determinación del mejor ajuste por MINITAB, mediante el estadístico Anderson-Darling ajustado apara las cuatro distribuciones evaluadas.

El software Minitab calculó el estadístico de Anderson-Darling usando la distancia al cuadrado ponderada entre la línea ajustada de la gráfica de probabilidad (con base en la distribución elegida y usando el método de estimaciones de mínimos cuadrados) y la función de paso no paramétrica. El cálculo tuvo mayor ponderación en las colas de la distribución.

De acuerdo a estos resultados, se determinó que si bien, la distribución no se ajustó la de Weibull, mostrado anteriormente en la prueba K-S, la distribución se ajustó mejor a la de Weibull respecto a las distribuciones LogNormal, Exponencial y Normal.

Comparación entre Resultados Microbiológico y Probabilístico Weibull

Tabla 11. Cuadro Comparativo Microbiológico-Probabilístico

Descripción de Producto	Rechazo Microbiológico	Rechazo Probabilístico de Weibull	Diferencia
Pizza Variedad Americana	336 horas ó 14 días	256 horas ó 10 días y 16 horas	80 horas ó 3 días y horas

Se pudo mostrar que el método Weibull fue más sensible que el método microbiológico. Al ser los consumidores finales quienes determinan la aceptación del producto, la aplicación de métodos de estimación que utilice pruebas sensoriales, se asemejará más a la realidad.

Duyvesteyn et al. (1999) demostraron que no existe correlación entre el crecimiento microbiano y la pérdida de calidad sensorial en la leche.

Funciones típicas de la distribución de Weibull

Con la ecuación Función de fallo se determinó la curva de Distribución Acumulativa.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

En la figura 8 se expresó que a medida que pasa el tiempo, la probabilidad de rechazo aumenta y que a un 0.5 (correspondiente al 50%) se tiene un tiempo aproximado de 10.68 días o expresado en horas 10 días con 16 horas.

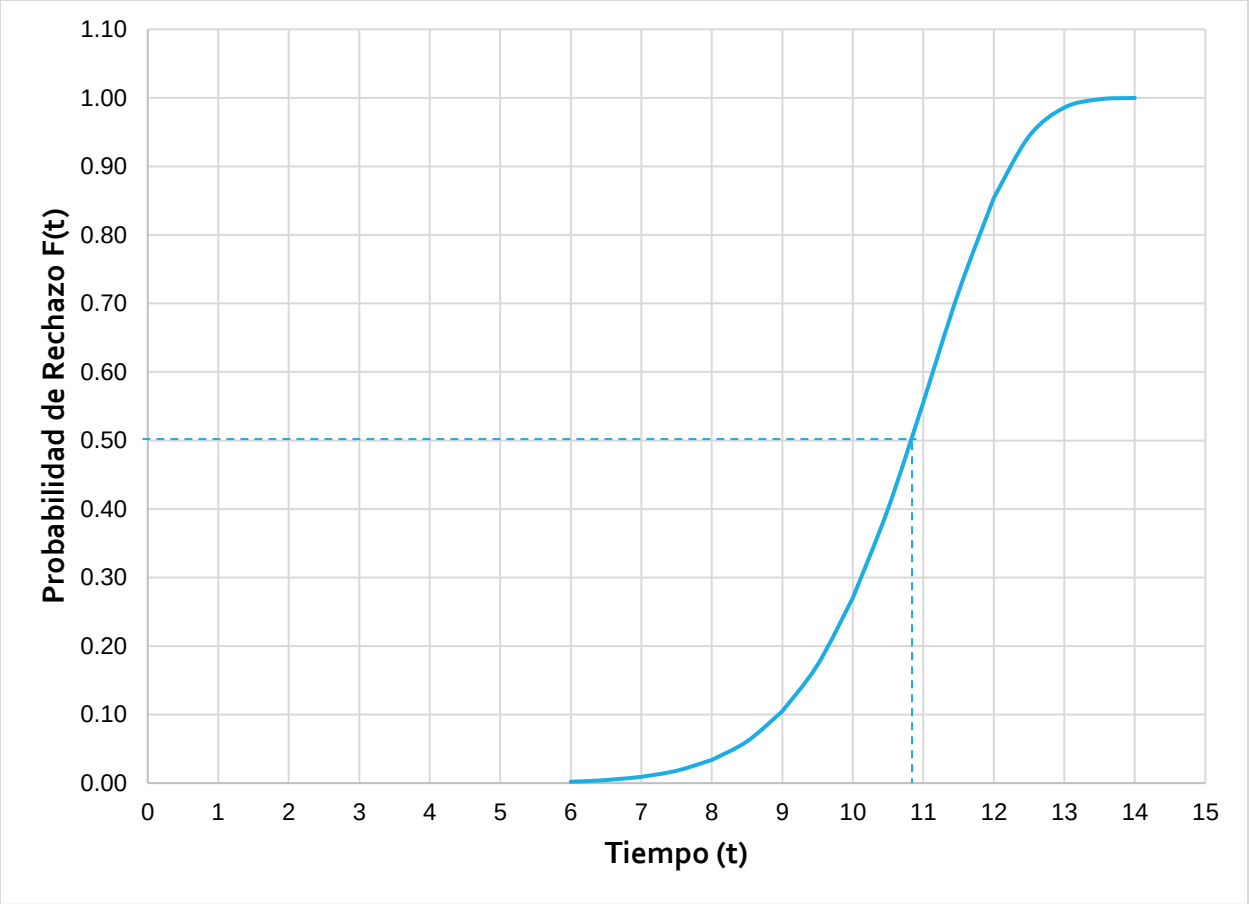


Figura 8. Función de Distribución Acumulativa (Función de Fallo)

Se pudo verificar que el resultado obtenido anteriormente en la Estimación E(t) fue muy cercano a lo presentado en la gráfica.

CONCLUSIONES

Mediante el método Weibull se determinó que el tiempo de vida en anaquel media de las pizzas de variedad americana fue igual a 10 días con 16 horas mantenidas en cadena de frío (0 – 4°C) empacadas en poliolefina termoencogible.

A partir de los análisis microbiológicos, se determinó que el tiempo de vida en anaquel para pizzas de en cadena de frío empacadas en poliolefina termoencogible fue de 14 días, llegando al límite microbiológico= $1x10^2$ UFG/g

Mediante el estadístico Anderson Darling se obtuvieron los resultados para las distribuciones LogNormal = 7.981, Exponencial= 119.683, LogLogistico = 8.164 y Weibull = 5.69, concluyendo que la distribución se ajustó mejor a la de Weibull respecto a las demás distribuciones. Siendo este método confiable con respecto a sus pares para determinar el tiempo de vida útil de este alimento.

Desde de la gráfica de función de rechazo se verificó que a partir del día 10 días y 16 horas, las pizzas de variedad americana en cadena de frío superan el 50% de rechazo por parte de los consumidores.

RECOMENDACIONES

Es conveniente disgregar los atributos correspondientes a la evaluación sensorial (textura, sabor, color, aroma) para determinar cuál de ellos es rechazado inicialmente por los consumidores finales.

Para extender el tiempo de vida en anaquel se recomienda evaluar otros tipos de empaque primario.

Para comercializar el producto no se debe manejar el límite máximo obtenido de la Función. Siempre se le debe otorgar un margen de seguridad para que el consumidor final no pueda detectar el deterioro.

REFERENCIAS

Almachi, S. (2009). *Estudio para extender el Tiempo de Vida Útil de las Tortillas de Maíz producidas por la microempresa Tijuana mediante el uso de conservante y temperatura.* (pp. 63-64). Ambato. Universidad Técnica de Ambato.

Al- Ali, M & Kupra, I. (2016). *Polyolefin compounds and materials*, (Cap. 7. 191.192).

Ángel, J. y García, R. (2012). *Conceptos básicos de fiabilidad*. Universidad Oberta de Catalunya.

Bogadtke, B. (1979). *Use of CO_2 in packaging foods.* (pp. 33-34).

Clarke, C. & Farrell, M. (2000). *The Effects of Recipe Formulation on the Textural Characteristics of Micro-Wave-Reheated Pizza Bases*. Journal of the Science of Food and Agriculture. (Vol. 80, No. 8, pp. 1237- 1244).

Clark, D.S. and Lentz, C.P. (1969). *The effect of C4 on the growth of slime producing bacteria on ksh beef*. Canadian Institute Food Science Technology Journal. (pp. 72- 76).

Corradini, M. G. & Peleg, M. (2007). *Shelf-life estimation from accelerated storage data*. Trends in Food Science & Technology (pp. 37 – 47).

Duyvensteyn W., Shimoni, E., Labuza, T. (2000). *Determination of the end of shelf life for milk using Weibull Hazard Method*. University of Minnesota.

Elías, C., Salas, F., Mendiburu, F. & De la Cruz, W. (2010). *Estimación del tiempo de vida útil de pan de molde con incorporación de harina de quinua (Chenopodium Quinoa Willd) y suero, usando la Distribución de Weibull*. (p.12). Lima. UNALM.

Equilibrium, Clasificadora de Riesgo. (2015). *Análisis del sector Retail: Supermercados, Tiendas por departamento y Mejoramiento del Hogar.*

Fu, B., Labuza, T. P. (2000). *Shelf life testing: procedures and prediction methods for frozen foods*, J. Food Proc. Preserv. (pp. 2- 46).

Gacula, M., Singh, J., Bi, J., Altan, S. (2008). *Statistical Methods in Food and Consumer Research.* (2nd Ed.). Academic Press.

Gratton, R & Juliarena, P. (2007). *Conservación de Alimentos*. Tecnología, Ambiente y Sociedad, UNICEN. Buenos Aires.

Gould, G. W. (1996). *Methods for preservation and extension of shelf life*. International Journal of Food Microbiology. (pp. 51 – 64).

Griful, E. (2001). *Fiabilidad Industrial*. Edicions Universidad Técnica de Catalunya.

Hickey, C.S. (1980). *Sorbate spray application for protecting yeast-raised bakery products.* Baker's Digest. (cap 54: 4- 7).

Hough, G., Langohr, K., Gomez, G., Curia, A. (2003). *Survival Analysis Applied to sensory shelf life of foods*. Journal of Food Science. (359-362)

Hough, G. (2007). *Sensory shelf-life testing*. Food Quality and Preference. (pp. 640-645).

Klein, P.J., Moeschberger, M. L. (1997). *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data*. Statistics for Biology and Health.

Labuza, T. and M. K. Schmidl. (1985). *Accelerated Shelf Life Testing of Foods.* Food Technology, (Vol. 9, No. 2, pp. 57-62, 64, 134).

Labuza, T. (2000). *The search for shelf life – An update on continued efforts in understanding practical strategies for determining and testing the shelf life of food products.* Food Testing Analysis (pp.1-21).

Larsen, R. (2006). *Food Shelf life: Estimation and Experimental Design*. Thesis of Master of Science. Brigham Young University. USA.

Lopez-Alonso R, Antolín-Giraldo G. (2004). *Envasado y conservación de alimentos*. Últimas tendencias. Alimentación Equipos y Tecnología. (pp. 45-52).

López, M. (2011). *Prueba de Normalidad*: Prueba de Anderson Darling.

Malakar, P. K., Martens, D. E., Zwietering, M. H., Béal, C., Van´t Riet, K. (1999). *Moddeling the interactions between Lactobacillus curvatus and Enterobacter cloacae II*. *Mixed cultures and shelf life predictions*. (pp. 67-69). Int. J. Food Microb

McMeekin, T.A. and Olley, J. (1986). *Predictive microbiology.* Food Technol. (pp. 331-334).

Meilgaard, M., Vance, G., Thomas, B. (2007). *Sensory Evaluation Techniques.* (4ta ed., pp. 108-120). Florida. CRC Press.

Muñoz, A. M., Civille, V. G., & Carr, B. T. (1992). *Sensory evaluation in Quality Control*. Reinhold USA: Van Mostrand.

New Zeland Food Safety Authority (2005). *A guide to calculating the shelf life of foods*. Wellington, New Zeland.

Ocampo, J. (2003). *Determinación de la Vida de Anaquel del Café Soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y Evaluación del Tipo de Empaque en la Conservación del Producto.* (pp. 74-76). Manizales. Universidad Nacional de Colombia.

Pérez, R. (2007). *Procedimiento para la Evaluación de la satisfacción del cliente externo en las Tiendas de Ventas Mayoristas.*

Peryam, D.R., Girardot, N.F. (1952). *Advanced taste test method. Food Engineering*. (58-61).

PRABHAKAR, D. (2004). *Weibull Models*. John Willey & Sons, Inc. USA.

Rahman, M. (2007). *Handbook of food Preservation* (2da ed., pp 30-40). Nueva York. CRC Press.

Raventós, M. (2003). *Industria Alimentaria, Tecnologías Emergentes*. (1ed., pp. 106-108). Barcelona. UPC.

RM N° 1020-2010/MINSA. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de productos de Panificación, Galletería y Pastelería. Lima.

Salah, H. (1997). *Methods to extend the mold free shelf life of pizza crusts*. Ottawa. Image Inc.

Salas, W. (2010). *Introducción al empacado de alimentos*. Centro de Investigación y Capacitación en Envases y Embalajes. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Salim-ur-Rehman & John R. Piggott. (2008). *Preparation and evaluation of pizza cheese made from blend of vetch–bovine milk*. International Journal of Food Science and Technology. (pp. 43, 770–778).

Simone L., Deise R., Silva S. & Demiate I. (2012). *Obtenção de massa de pizza em tempo reduzido de fermentação.* Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, (pp. 701-709).

Smith, J.P. Ramaswamy & H and Simpson, B.K. (1990). *Development in food Packaging technology.*

Sofos, J. N., & Busta, F. (1993). *Sorbic acid and sorbates*, (pp. 49-94). Antimicrobials in foods. New York, N.Y. Marcel Dekker Inc.

Stone, H. (2012). *Sensory Evaluation Practices,* (4th Edition). Elseiver Inc.

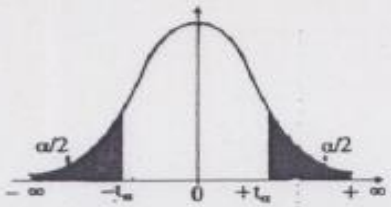
Warleta, J. (1973). *Fiabilidad. Bases teóricas y prácticas*. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

Wells, J.H. & Singh, R.P. (1988). *Application of time-temperature indicators in monitoring changes in quality attributes of perishable and semiperishable foods. (pp. 148-156).*

ANEXOS

Anexo 1. Tabla t-student

Distribución t de Student



g.l \ α	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.929
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
35	0.682	0.852	1.052	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.592
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.705	3.551
45	0.680	0.850	1.049	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.521
50	0.679	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.497
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.461
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.417
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.391
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Anexo 2. Test Komogorov- Smirnov

Test de Kolmogorov-Smirnov

	Nivel de significación α							
n	**0.20**	**0.10**	**0.05**	**0.02**	**0.01**	**0.005**	**0.002**	**0.001**
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0..30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.221l5	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.2749tl	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n>50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.73}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.85}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.95}{\sqrt{n}}$