



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Estadística Aplicada

**DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN  
ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE**

**Lcda. Monica Beatriz Zamora González**

Asesorado por la MSc. Norma Ileana Sarmiento Zeceña

Guatemala, abril de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LCDA. MONICA BEATRIZ ZAMORA GONZÁLEZ**

ASESORADO POR LA MSc. NORMA ILEANA SARMIENTO ZECEÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ESTADÍSTICA APLICADA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrados de Ingeniería, con fecha

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Monica Zamora", enclosed within a circular scribble.

**Lcda. Monica Beatriz Zamora González**



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.400.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE**, presentado por: **Lcda. Monica Beatriz Zamora González**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Estadística aplicada después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc



**Guatemala, abril de 2023**

LNG.EEP.OI.400.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE”**

presentado por **Lcda. Monica Beatriz Zamora González** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Estadística aplicada** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*


**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala 30 de mayo 2022.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTICULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE** de la estudiante **Mónica Beatriz Zamora González** quien se identifica con número de carné **201314495** del programa de Maestría en Estadística Aplicada.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,



  
**MSc. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco**  
Coordinador  
Maestría Estadística Aplicada  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, mayo de 2022.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **“DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE”** de la estudiante **Monica Beatriz Zamora González** del programa de Maestría en **Estadística Aplicada** identificada con número de carné: **2327472880101**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



INGENIERA INDUSTRIAL  
COLEGIADA No. 4319

---

MSc. Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña

Colegiado No. 4319

Asesor de Tesis



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi guía en el proceso de formación personal y profesional, mi fiel compañía, y el mayor ejemplo de entrega y amor infinito.
- Mis padres** Jorge Luis Zamora Samayoa y Flory Julissa González, por su sacrificio al formarme con amor y disciplina, por sus cuidados y atenciones.
- Mi hermano** José Jorge Zamora González, por estar siempre a mi lado, apoyarme y enseñarme a luchar por mis seres queridos y compartir la experiencia de crecer profesionalmente.
- Mis tías** Silvia Zamora, Elsie Zamora y Miriam García, por su amor y apoyo incondicional, por siempre cuidarme y tratarme como a una hija.
- Mi familia** Por ser el pilar de mi vida y las personas que más amo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por acogerme y ser la casa de estudios donde se me confirieron valiosas herramientas de conocimiento para mi formación profesional.
<b>Facultad de ingeniería</b>	Por ser el origen del desarrollo de mis más especiales habilidades.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Norma Ileana Zeceña Sarmiento, por compartir con entusiasmo su experiencia y conocimientos en el presente trabajo de graduación.
<b>Amigos</b>	A todos los compañeros de la cohorte 2019-2020, por compartir sus conocimientos y experiencias en clase.
<b>Mi novio</b>	Cesar Fernando Castillo Posadas, por siempre acompañarme y apoyarme con entusiasmo y optimismo, por su paciencia, atención, diligencia y amor.
<b>Dra. Aura Marina Rodríguez</b>	Por su guía en todo el proceso, por creer en sus alumnos, motivándonos con entusiasmo a ser perseverantes.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
GLOSARIO .....	V
RESUMEN.....	VII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	IX
OBJETIVOS.....	XIII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Diseño experimental.....	7
2.2. Bloques completos al azar.....	7
2.3. Análisis de varianza.....	8
2.4. Kruskal Wallis .....	12
2.5. Tamaño de la muestra.....	12
2.6. Técnica de muestreo sistemático .....	13
2.7. Prueba Post Hoc .....	14
2.8. Prueba Bonferroni .....	14
2.9. Verificar supuestos .....	14
2.9.1. Normalidad – Kolmogorov Smirnov .....	15
2.9.2. Homocedasticidad – Levene.....	15
2.9.3. Independencia – Durbin Watson.....	16
2.10. Transformaciones.....	18
2.11. Vida útil de anaquel .....	18

2.11.1.	Cambios físicos .....	18
2.11.2.	Cambios químicos .....	18
2.12.	Empaque .....	19
2.12.1.	Vidrio .....	19
2.12.2.	Biodegradable .....	20
2.13.	Método de recolección de datos .....	20
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	23
3.1.	Tamaño de la muestra .....	23
3.2.	Muestreo sistemático .....	24
3.3.	Análisis ANOVA .....	25
3.3.1.	Planteamiento de hipótesis .....	25
3.4.	Normalidad.....	26
3.5.	Homocedasticidad.....	28
3.6.	Transformaciones.....	29
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES .....	45
	REFERENCIAS .....	47
	APÉNDICES.....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Empaque control .....	XVIII
2.	Empaque de vidrio .....	XIX
3.	.Empaque biodegradable .....	XX
4.	Prueba de hipótesis ANOVA .....	12
5.	Termobalanza para el método de secado .....	21
6.	Determinación del tamaño de la muestra en RStudio .....	24
7.	QQ-Plot para prueba de normalidad de los residuos .....	27
8.	Homocedasticidad.....	29
9.	Comparaciones entre parejas de empaque .....	32
10.	Gráfica para valores de humedad empaque control .....	33
11.	Gráfica para valores de humedad empaque de vidrio.....	34
12.	Gráfica modelo lineal de empaque biodegradable .....	36
13.	Gráfico estimación días de vida útil por empaque.....	37

### TABLAS

I.	Variables .....	XVI
II.	Presentación de los datos en ANOVA de un experimento de un solo factor.....	9
III.	Fuentes de variación .....	10
IV.	Cuadrados Medios .....	10
V.	Análisis de varianza para el modelo con un solo factor.....	11

VI.	Tabla ANOVA .....	26
VII.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov .....	27
VIII.	Prueba de Levene de los residuos.....	28
IX.	Prueba de Kolmogorov-Sminov de los residuos transformados .....	30
X.	Prueba de Levene de los residuos absolutos transformados .....	30
XI.	Prueba Kruskal-Wallis.....	31
XII.	Prueba post hoc Bonferrani .....	31
XIII.	Valores para el modelo lineal de empaque control .....	33
XIV.	Valores para el modelo lineal de empaque de vidrio .....	35
XV.	Valores para el modelo lineal de empaque biodegradable .....	36

## GLOSARIO

<b>Autocorrelación</b>	Fenómeno que se presenta en muestras que contengan de datos asociados al tiempo
<b>Control</b>	Parámetro de referencia. El que se pretende igualar.
<b>Empaque</b>	Es el contenedor de un producto que fue diseñado y producido para protegerlo y preservarlo durante su traslado, almacenamiento y entrega al cliente final. Es de gran utilidad para diferenciar al producto o marca.
<b>Experimentador</b>	Persona que realiza experimentos y establece criterios para este.
<b>Factor</b>	VARIABLES que se desean controlar durante un experimento.
<b>Homocedasticidad</b>	Varianzas iguales.
<b>Sensorial</b>	De los sentidos corporales o relacionados con ellos.
<b>Tratamiento</b>	Son los niveles en los cuales se estudiarán los factores.



## RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue diseñar un experimento que demuestre los cambios del tiempo de vida que sufren las galletas al variar el tipo de empaque donde se almacenan.

El objetivo general consistió en caracterizar el efecto que tiene sobre el tiempo de vida útil de galletas de mantequilla el variar el tipo de empaque, por medio del diseño experimental para prolongar las condiciones aptas para el consumo.

El enfoque del estudio realizado es cuantitativo, debido a que las variables que se manipularon y analizaron fueron datos cuantitativos (humedad y días). El alcance es correlacional, ya que se midió por medio de valores de humedad, el grado de relación que existe entre la vida útil de las galletas y el tipo de empaque empleado para su almacenamiento. Mientras que el diseño utilizado fue experimental, debido a que se manipuló el empaque del producto.

Se obtuvieron diferencias significativas en los valores medios de humedad de las galletas en los tres empaques empleados durante el experimento, y se identificó que el empaque biodegradable ofrece la mejor barrera contra el deterioro por humedad del producto, por lo que se ofrece como alternativa la introducción de un empaque amigable con el medio ambiente y que a la vez conserva la calidad de las galletas.

En conclusión, existe diferencia significativa entre cada tipo de empaque con un nivel de significancia del 95 %, siendo el mejor el empaque el biodegradable ya que los valores de humedad registrados fueron los menores.

De acuerdo con los resultados, se recomienda aplicar el diseño de experimento para los demás productos de galletería que se vean afectados en calidad por el tipo de empaque utilizado.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Contexto general

La calidad de los productos de galletería se encuentra directamente relacionada con el sabor, textura, aroma, olor, aspecto, aportes nutricionales, entre otras características, las cuales se desean mantener durante un tiempo, cada vez más prolongado. Los ingredientes y procesos generan un impacto importante en la vida útil de cualquier tipo de galleta.

Con este estudio se busca extender el tiempo de vida útil de las galletas de mantequilla mediante la variación del tipo de empaque final (en el producto terminado) conservando sus características sensoriales y fisicoquímicas, especialmente la humedad, ya que se considera el indicador más importante de la vida útil para productos de aspecto y textura crocante.

Actualmente, las pruebas de tiempo de vida son realizadas sobre la marcha, con base en el ensayo y error, recurriendo a la intuición y experiencia, sin lograr garantizar una respuesta acertada a las interrogantes que se desean resolver, ya que no existe una planeación que determine qué pruebas son necesarias, cómo se realizarán, y qué tratamiento estadístico es el ideal para realizar un análisis formal de los datos y en base a ellos se pueda resolver el problema o plantear mejoras objetivas y fundamentadas.

## Descripción del problema

Se cree que el tiempo de vida en anaquel de las galletas de mantequilla es reducido, sin embargo, la carencia de alguna prueba con resultados fundamentados en el análisis estadístico no permite validar este supuesto. Por ello se hace necesario diseñar un experimento en donde se ponga a prueba la calidad de las galletas a través del tiempo.

Se desconoce qué factor tiene mayor incidencia en la vida útil del producto, por lo que se hace necesario analizar todas las posibles variables que lo afectan tanto de tipo controlables (factores fijos) como el empaque, la temperatura de almacenamiento, y no controlables, como las condiciones ambientales.

Adicionalmente se desconoce si las inspecciones de calidad del producto se realizan de forma aleatoria, y se carece de la aplicación de un método de muestreo probabilístico que sea representativo a la orden de producción de galletas, así como determinar los criterios de selección que deberán cumplir las unidades experimentales para ser tomado en cuenta dentro de la muestra.

## Formulación del problema

### Pregunta central

¿Cuál es el efecto de diseñar un experimento en el cual se utilicen diferentes tipos de empaque sobre el tiempo de vida útil de las galletas de mantequilla que permita prolongar las condiciones aptas para el consumo?

## Preguntas auxiliares

¿Qué tamaño de muestra se requiere para obtener un estimador poblacional de la vida útil en anaquel de las galletas?

¿Cuál es el grado de validez del modelo lineal asociado al análisis de varianza necesario para cuantificar el efecto del factor empaque?

¿Cuál es la diferencia en el tiempo de vida útil de las galletas de mantequilla en relación con el tipo de empaque utilizado?

## Delimitación del problema

La población de estudio será un lote de producción en donde las unidades experimentales serán empaques de galletas de mantequilla elaboradas en una planta procesadora de alimentos ubicada en la zona 12 de la ciudad capital, las cuales deberán cumplir ciertos criterios de selección para ser tomadas en cuenta dentro de la muestra que se seleccionará de forma aleatorizada.

La variable que se manipulará es el empaque, el cual será el único factor de interés y se tendrán tres niveles o tratamientos que serán las variaciones de los empaques (control, vidrio y biodegradable). Se probarán hipótesis de igualdad de los tipos de empaques con respecto a la media de la variable de respuesta tomada durante 45 días y se analizará los resultados mediante pruebas Post-Hoc si es necesario. Se probarán los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Caracterizar el efecto que tiene sobre el tiempo de vida útil de galletas de mantequilla el variar el tipo de empaque, por medio del diseño experimental para prolongar las condiciones aptas para el consumo.

### **Específicos**

1. Determinar el tamaño de muestra óptimo de la cantidad de empaques de galletas a utilizar en el experimento por medio de las técnicas de muestreo.
2. Determinar si existe diferencia significativa en el tipo de empaque utilizado para justificar a nivel industrial la introducción de un empaque amigable con el ambiente, por medio del análisis de varianza de un solo factor y pruebas post hoc.
3. Verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia, además de la ausencia de observaciones atípicas o aberrantes, para comprobar la validez de los resultados del análisis de la varianza mediante pruebas formales de Kolmogorov Smirnov, Levene y Durbin-Watson



## RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

### Características del estudio

El enfoque del estudio fue cuantitativo, debido a que las variables que se manipularon y analizaron fueron datos cuantitativos (humedad, peso y días). La recolección de datos de humedad se fundamentó en la medición del contenido de agua en el producto mediante una termobalanza, y estas mediciones fueron analizadas con métodos estadísticos.

El alcance fue correlacional. Debido a que se midieron por medio de valores de humedad, el grado de relación que se observó entre las variables a controlar, que para este caso es el tipo de empaque contra la cantidad de días aptos para el consumo.

El diseño utilizado fue experimental, debido a que se manipuló de forma intencional el empaque del producto, donde se realizó una comparación contra el diseño piloto (no manipulado), para medir el efecto que causaron estos tratamientos. Al realizar el estudio mediante un diseño experimental se generó los cambios en el empaque de forma controlada y los resultados obtenidos se analizaron como los efectos que sufrieron las galletas.

### Unidades de análisis

La población en estudio serán empaques conteniendo galletas de mantequilla, de la cual se extraerán muestras de forma aleatoria que serán estudiadas en su totalidad.

## Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla I. **Variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Humedad relativa	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo con relación a su masa total.	Fracción de agua presente en las galletas respecto a su masa total. (Adimensional). Es una variable de razón.
Vida de anaquel	Periodo de tiempo en el cual el alimento conserva los atributos esperados por el consumidor y es el momento adecuado para comercializarlo	Cantidad de días aptas para el consumo. Es una variable de razón.
Temperatura	Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera	Temperatura de almacenamiento en grados Celsius (°C). Es una variable de intervalo.
Peso neto	Peso de la materia o sustancia de una mercancía sin considerar el envase o embalaje	Peso en gramos (g) de producto sin empaque. Es una variable de razón.

Fuente: elaboración propia.

## Fases del estudio

### Fase I. Revisión de literatura

#### Contenido estadístico

En donde se presentó un tipo de diseño experimental alineado a los objetivos del estudio y que orientó el tratamiento estadístico hasta que se logró comprobar las hipótesis planteadas por el experimentador. Se adoptaron conceptos para determinar los factores controlables, no controlables, y dentro de ellos el factor de interés acompañado de sus respectivos niveles. De igual forma se expuso la manera efectiva de identificar los criterios de selección con los que debieron cumplir las variables para considerarse como parte del tamaño muestral.

#### Contenido técnico

Se dieron a conocer parámetros importantes que intervinieron en el comportamiento de la vida de anaquel de las galletas de mantequilla, así de como de los métodos popularmente empleados para medir la calidad de productos de galletería a través del tiempo, como rangos de humedad y análisis fisicoquímicos.

### Fase II. Gestión o recolección de la información

Una vez planteadas las variables, factores y tratamientos por evaluar se determinó el tamaño de la muestra mediante los valores de tamaño del efecto, potencia de la prueba, número de grupos y nivel de significancia.

Se inició el desarrollo del experimento y se realizaron 3 pruebas:

- Piloto (galletas con receta original + empaque original)
- Galletas con receta original + empaque de vidrio
- Galletas con receta original + empaque biodegradable.

La humedad se midió en una termobalanza, cuyos resultados fueron arrojados en porcentaje.

Figura 1. **Empaque control**



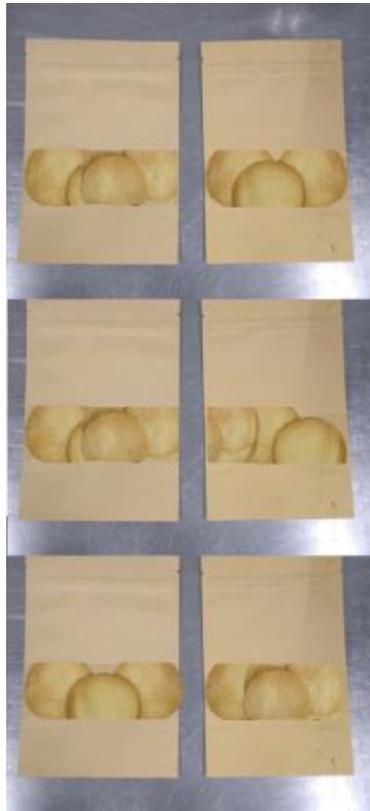
Fuente: [Fotografía de Mónica Zamora]. (Guatemala. 2022). Colección particular. Guatemala.

Figura 2. **Empaque de vidrio**



Fuente: [Fotografía de Mónica Zamora]. (Guatemala. 2022). Colección particular. Guatemala.

Figura 3. **Empaque biodegradable**



Fuente: [Fotografía de Mónica Zamora]. (Guatemala. 2022). Colección particular. Guatemala.

### Fase III. Análisis de información

#### Técnica de muestreo

La técnica para seleccionar las unidades específicas que conformarán el número de empaques de galletas a evaluar será mediante muestreo sistemático. Iniciando con la primera unidad experimental al seleccionarse de manera aleatoria un elemento de los primeros  $k$  elementos en el marco y después cada  $k$ -ésimo elemento se denominará muestra sistemática de 1 en  $k$ .

Análisis de varianza de un factor:

Se realizará un análisis de varianza de un factor (empaque) con 3 niveles (control, vidrio, biodegradable) para determinar si el valor medio de la humedad de las galletas es el mismo en el que se usaron los diferentes tipos de empaques. Con los resultados obtenidos se tomarán decisiones sobre el tipo de empaque conveniente para lograr prolongar la vida de anaquel de las galletas.

Pruebas formales para verificación de supuestos:

Normalidad

Se verificará si los datos tomados como muestra fueron generados por un proceso normal, mediante las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : Los datos proceden de una distribución normal ( $F(x)$  es normal)
- $H_A$ : Los datos no proceden de una distribución normal ( $F(x)$  no es normal)

Las hipótesis se probarán mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, debido a que la muestra es mayor a  $n=50$  datos, contrastando los resultados de esta prueba con las hipótesis planteadas.

Homocedasticidad

Se evaluará si las varianzas se mantienen constantes mediante las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : Existe homocedasticidad entre los datos
- $H_A$ : No existe homocedasticidad entre los datos

Se utilizará la prueba de Levene suponiendo que los datos provienen de distribuciones continuas, pero no necesariamente normales. El método considerará las distancias de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra, lo que hace que la prueba sea más sólida para las muestras más pequeñas.

### Independencia

Una de las pruebas analíticas de uso frecuente es Durbin Watson. Esta prueba permitirá verificar el supuesto de independencia, es decir, que los datos fueron tomados de forma aleatoria.

Las hipótesis que ayudarán a comprobar este supuesto son las siguientes:

- $H_0$ : No existe autocorrelación entre los datos
- $H_A$ : Sí existe autocorrelación entre los datos

El estadístico de prueba de Durbin Watson ( $d$ ), será comparado con los valores críticos  $d_U$  y  $d_L$  que se encontrarán tabulados en la tabla de valores críticos para el estadístico de Durbin Watson, para diferentes valores de  $k$  (número de variables regresoras) y  $n$  (tamaño de la muestra)

- Sí  $d < d_L$ : Rechazar  $H_0$
- Sí  $d > d_U$ : No rechazar  $H_0$
- Sí  $d_L < d < d_U$ : prueba inconclusa

Con la variable respuesta (humedad), se desarrolló un análisis de varianza (ANOVA) y se probó si el factor empaque de las galletas en sus tres tratamientos mostró diferencias significativas entre ellas. Ante la existencia de al menos una

media diferente, se identificó mediante pruebas Post-Hoc la media significativamente diferente. Para asegurar que el análisis de varianza arrojó resultados confiables, se validaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos mediante pruebas formales, como Kolmogorov-Smirnov, Levene y Durbin-Watson, con el apoyo de pruebas informales (gráficas).

El tratamiento de los datos se realizó por medio de software con herramientas estadísticas como SPSS, Minitab, InfoStat, RStudio, GPower y Microsoft Excel.

#### Fase IV. Interpretación de información

Se valoraron los resultados obtenidos al contrastar las hipótesis de los tratamientos para identificar alguna diferencia significativa entre los diferentes niveles del factor empaque.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una innovación ya que pretende, mediante el diseño de un experimento, poner a prueba diferentes empaques y conocer el tiempo de vida útil que ofrecen a los productos de galletería, buscando identificar el empaque que conserve por mayor tiempo las características de calidad.

El problema de estudio se relacionó al reducido tiempo de vida en anaquel, de las galletas de mantequilla sin aditivos empacadas en cajas plásticas, en una empresa de alimentos el cual es afectado por parámetros como la humedad y repercute en características sensoriales como el color, olor, sabor, textura y apariencia.

Las pruebas de tiempo de vida están basadas en resultados de pruebas tradicionales denominadas a “prueba y error”, es decir se carece de un diseño de experimental que trate los fenómenos de forma observables y repetibles; que permita validar que cada cosa observada se aprecia con variabilidad, que nada ocurre exactamente de la misma forma dos veces e incluso que las mediciones de humedad del mismo evento varían.

Estos planteamientos no pueden ser resueltos de manera coherente sin el tratamiento estadístico y sin la aplicabilidad de las consideraciones básicas de la experimentación.

La importancia de lograr incrementar el tiempo de vida de las galletas radica en que podrán elaborarse mayores volúmenes del producto a intervalos de tiempo más largos y mantenerlas almacenadas.

Para resolver el problema, se llevó a cabo una variación en el tipo de empaque. Esta prueba se aplicó al tamaño de muestra obtenido según las técnicas de muestreo sistemático. Los empaques fueron control (caja plástica), vidrio y biodegradable.

El tiempo de vida útil se midió por medio de los valores de humedad obtenidos, ya que se definió éste como principal indicador del deterioro de los productos de aspecto y textura crocante. Mediante un análisis ANOVA se comparó los valores medios de humedad obtenidos con la termobalanza y se discutió la existencia del empaque más adecuado.

Como resultado se identificó que el empaque biodegradable es el que conserva óptimamente las características de calidad de las galletas a comparación del empaque control y vidrio. Lo que respalda el uso de un empaque amigable con el medio ambiente sin sacrificar las características del producto.

Las fases de la presente investigación iniciaron con la revisión de literatura, tanto del conocimiento estadístico necesario y técnico. Se dio a conocer el empaque como factor de interés y en los niveles que éste sería probado (plástico, vidrio y biodegradable) y el método para recolección de datos de humedad mediante la termobalanza.

Posteriormente, se definió el análisis de varianza de un factor, las ecuaciones a utilizar y los supuestos para validar, para finalizar con la interpretación de la información mediante el contraste de hipótesis.

El estudio fue factible, ya que se determinó el tamaño de muestra óptimo para representar a la población y obtener resultados válidos tomando en cuenta que los recursos de tiempo y dinero fueron limitados.

El informe final del estudio se estructuró en cuatro capítulos, en el capítulo 1, se presentó la introducción del problema estadístico, en el capítulo 2 el marco teórico el cual queda conformado de dos partes. En la primera parte se definieron conceptos de diseño de experimentos, las características que debe cumplir, los resultados que permite obtener, la forma de tratarlos e interpretarlos.

Se explicó el método para determinar el tamaño de la muestra, se dió a conocer las técnicas para recolección de datos y su tratamiento estadístico mediante ANOVA de un factor.

La segunda parte del primer capítulo contiene conceptos específicos sobre la vida útil de productos alimenticios y los cambios que sufren a través del tiempo. Se describieron las propiedades de los diferentes tipos de empaques y sus beneficios al entrar en contacto con productos alimenticios.

En el capítulo tres, se presentaron los resultados del experimento y los efectos de los tratamientos, y se probó la hipótesis de igualdad de humedades se usaron los diferentes tipos de empaques.

En el cuarto capítulo, se llevó a cabo la discusión de los resultados con base a la hipótesis aceptada, la cual se cumple el supuesto de que efectivamente existe diferencia al utilizar diferentes empaques, para guiar la toma de decisiones en cuanto al tipo de empaque conveniente para prolongar la vida útil de las galletas.



## 1. MARCO REFERENCIAL

En los estudios con alcance experimental se comparan los efectos que causa cada variable cuando ésta se manipula, para lo cual se plantean hipótesis que deberán de ser probadas mediante el proceso de ejecución en el área de alimentos. A continuación, se presentan algunos estudios experimentales desarrollados en el área de alimentos, así como las conclusiones a las que los autores llegaron.

Para conocer el tiempo de vida útil en el área de alimentos se desarrollan variedad de experimentos, por ejemplo, Gewerc y Muñoz (2006) plantean en

Estudio de la vida útil para la galleta con la siguiente formulación química, Harina de huiro 16 %, harina de arroz 16 %, almidón de papa 19 %, margarina 8 %, huevo 10 %, azúcar 4 %, lecitina de soya 1,5 % y agua 25,5 %. Las dimensiones de la galleta corresponden a 5 cm de diámetro y 5 mm de espesor.

El envase elegido correspondió a bolsas impresas de polipropileno de 40 micrones de espesor y de medidas 20 x 15,5 cm. La vida útil de la galleta a una temperatura de almacenamiento de 20 °C se determinó en 12 semanas. (p.1)

Con lo que obtuvo resultados para cada tipo de tratamiento en el que se manipularon variables como temperatura de almacenamiento, ingredientes y empaque.

En otros estudios, se han considerado variables externas como confirma Labuza, (1999), “generalmente, los estudios de vida de anaquel, como muchas otras actividades en el campo de los alimentos, se realizan en forma empírica y aleatoria, con muy pocas consideraciones experimentales” (p. 10).

Con lo que concluye que hay que considerar elementos del ambiente externo que intervienen en la durabilidad de los productos.

Otros investigadores como Vickers y Bourne (2001), publicaron una reseña bibliográfica sobre la característica crocante en alimentos. El trabajo estaba centrado en la correlación entre crocante y otras características sensoriales como cohesividad y crujiente, y entre crocante y los métodos instrumentales utilizados para medir esta propiedad.

Esta reseña pone de manifiesto la importancia, reconocida hace ya muchos años, de este atributo en la calidad de muchos alimentos. Dentro de los elementos de gran importancia en la vida útil de los productos alimenticios, están sus características sensoriales.

En cuanto al tema de empaque, Terán *et al.*, (2015) concluyeron que:

Algunos de los empaques favorecen la reducción de la pérdida de agua manteniendo una alta humedad relativa alrededor de los frutos, mejora el mercadeo y distribución, evita daños durante el almacenamiento, transporte y comercialización, facilita la manipulación de los productos, se aprovecha mejor el espacio en el transporte y almacenamiento, además tiene influencia decisiva en alargar la vida útil de los productos manteniendo su calidad y presentación. (p.211)

Con lo anterior, las frutas pueden considerarse como el producto más crítico en su vida útil, por lo que un buen empaque es clave en el tiempo apto para el consumo.

Para diseñar un experimento, Tanco, (2008), explica que

Para poder llevar a cabo este experimento se formó un grupo de trabajo, el cual realizó una lluvia de ideas y después de agruparlas lograron sintetizarlas en cuatro factores primarios para comenzar con la experimentación.

Posterior a esto se revisan los resultados de los experimentos y se hace un análisis e interpretación de estos, para finalmente realizar un análisis de varianza (ANOVA) y poder llegar a los objetivos planteados al inicio de la experimentación. (p. 150)

Es decir, para llevar a cabo un experimento es importante conocer los pasos que guiarán al investigador hasta obtener los resultados que le permitirán hacer comparaciones y encontrar posibles respuestas.

El desarrollo eficiente de un diseño de experimentos requiere del cumplimiento de tres componentes principales siendo uno de ellos el control local. De acuerdo con Kuelh (2001) “el control local describe las acciones que emplea un investigador para reducir o controlar el error experimental, incrementar la exactitud de las observaciones y establecer la base de la inferencia de un estudio” (p.8).

Es decir, que por medio de este diseño se bloquean los demás factores que impacten en el resultado del experimento, para dejarlos sin efecto y no generar ruido.

Con el fin de enfocar esfuerzos en formalizar las pruebas experimentales, Pulido (2008), plantea que

Es común que estas pruebas o experimentos se hagan sobre la marcha, con base en el ensayo y error, apelando a la experiencia e intuición, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas. (p. 4)

Si sucediera algún imprevisto, las pruebas piloto permiten modificar decisiones previas. Con las pruebas piloto pueden observarse posibles complicaciones en la materia prima del producto o bien dentro del proceso. Así como oportunidades de mejora de este.

Determinar el tamaño óptimo de la muestra es crucial para obtención de resultados altamente confiables, es por esto por lo que Fernández *et al.*, (2001) describen que:

El muestreo sistemático clásico, al contrario de otros diseños más complejos, tiene una fácil implementación. Basta tener la lista de la población y recorrerla una vez para obtener la muestra, por lo que en situaciones en las que contemos con la población una sola vez es de gran utilidad.

Es, por tanto, el tipo de muestreo secuencial más sencillo, ya que permite obtener con mucha facilidad la muestra de tamaño dado. Así, por

ejemplo, si se dispone de una cantidad de unidades observables, el muestreo sistemático permite obtener la muestra recorriendo la población y escogiendo un elemento de cada  $n/N$ . (p.67)



## **2. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presentan los conceptos, teorías y criterios que serán el fundamento para la comprensión de la presente investigación.

### **2.1. Diseño experimental**

Según la definición de Pulido (2008), “consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas” (p. 4).

Las características de un diseño experimental son aleatorización, agrupamiento por bloques y repeticiones.

### **2.2. Bloques completos al azar**

Según Carvajal (2019) “trata de comparar tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloques y el error aleatorio. El principal objetivo se refiere a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos” (p.5).

Al continuar con la explicación de Carvajal (2019) en este tipo de experimento, la medición será el resultado del efecto del tratamiento donde se encuentre. La hipótesis de que las medias son iguales se va a analizar con el análisis de la varianza (ANOVA), con dos criterios de clasificación.

### 2.3. Análisis de varianza

De acuerdo con Montgomery (2004) “El procedimiento correcto para probar igualdad de varias medias es el análisis de la varianza” (p.63).

El escenario para el presente trabajo de investigación está conformado por un factor (empaquete) y tres niveles (control, vidrio y biodegradable).

Dentro del análisis de varianza las variables llevan su propia definición así, como factor, la variable que se desea medir; tratamiento, los niveles del factor interés y las unidades experimentales, son los objetos que reciben el tratamiento.

De acuerdo con Webster (2000), indica que: “Para la aplicación de ANOVA son esenciales las suposiciones de que todas las poblaciones involucradas son normales, tienen la misma varianza y se seleccionan de forma independiente” (p.273).

Al continuar con las descripciones de Carvajal (2019), se puede encontrar que el ANOVA “Se basa en la diferencia de la variación entre grupos y la variación dentro de los grupos, la cual recibe el nombre de error” (p.4).

$$F = \frac{\textit{Variación entre grupos}}{\textit{Variación dentro de los grupos}}$$

(EC. #1)

La información de los tratamientos que se desean comparar se muestra de la siguiente manera.

Tabla II. **Presentación de los datos en ANOVA de un experimento de un solo factor**

Tratamiento(nivel)	Observaciones				Totales	Promedios
1	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1n}$	$y_1$	$\bar{y}_1$
2	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2n}$	$y_2$	$\bar{y}_2$
.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	...	.	.	.
.	.	.	...	.	.	.
a	$y_{a1}$	$y_{a2}$	...	$y_{an}$	$\frac{y_a}{y}$	$\frac{\bar{y}_a}{\bar{y}}$
			...		$y$	$\bar{y}$

Fuente: Montgomery (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.

Pulido (2018) indica que: “La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación del experimento” (p. 65). Así:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \text{ (p. 65)}$$

(EC.

#2)

La ecuación 2 describe a  $\mu$  como la media del tipo de tratamiento,  $\alpha_i$  como el efecto del tratamiento y  $\epsilon_{ij}$  como el error aleatorio.

Cada fuente de variación producirá una suma de cuadrados, las cuales se utilizan para medir la varianza.

Tabla III. **Fuentes de variación**

Suma de cuadrados total	$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T_0^2}{N}$
Suma de cuadrados del tratamiento	$SSTr = \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T_0^2}{N}$
Suma de cuadrados del error	$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$

Fuente: Montgomery. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.

La suma de los cuadrados se puede representar con la ecuación:

$$SST = SSTr + SSE$$

(EC.

#3)

Los cuadrados medios se utilizan para determinar si los factores (tratamientos) son significativos.

Tabla IV. **Cuadrados medios**

Cuadrado medio del tratamiento	Cuadrado medio del error
$CMT_r = \frac{SSTr}{k - 1}$	$CME = \frac{SSE}{N - k}$

Fuente: Pulido. (2018). *Análisis y diseño de experimentos*.

Valor F

$$F = \frac{CMTr}{CME}$$

(EC.#4)

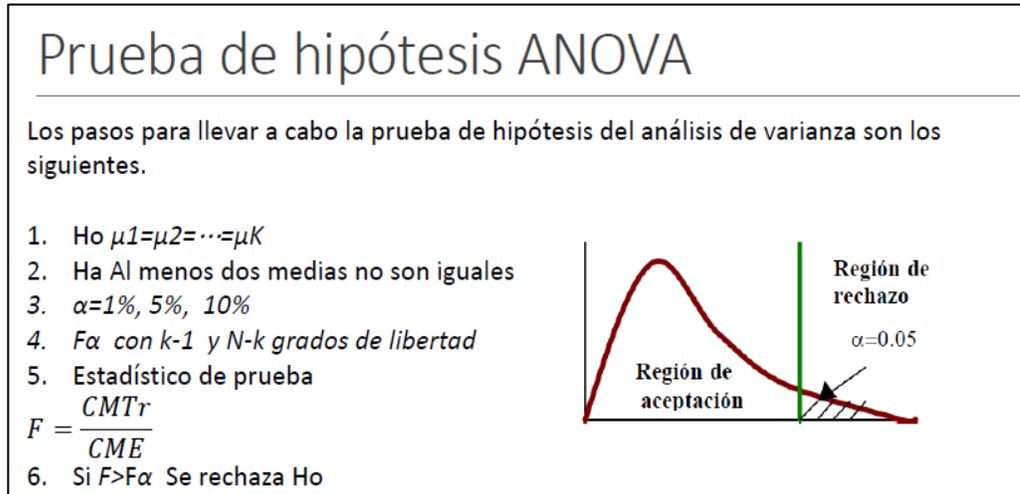
Tabla V. **Análisis de varianza para el modelo con un solo factor**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F
Entre muestras (Tratamiento)	SSTr	k-1	$\frac{SSTr}{k-1}$	$F = \frac{CMTr}{CME}$
Dentro de muestras (Error)	SSE	N-k	$\frac{SSE}{N-k}$	
Variación total	SST	N-1		

Fuente: Montgomery. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.

Finalmente se plantea la hipótesis que probará la igualdad o desigualdad de las medias.

Figura 4. Prueba de hipótesis ANOVA



Fuente: Carvajal (2019). Prueba de hipótesis ANOVA.

## 2.4. Kruskal Wallis

Según Sidney (1995) la prueba de Kruskal-Wallis evalúa la diferencia entre los rangos promedios para determinar si son lo suficientemente dispares, de tal suerte que no sea probable que las muestras hayan sido extraídas de la misma población.

$$KW = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k n_j (\bar{R}_j - \bar{R})^2$$

(EC.#5)

## 2.5. Tamaño de la muestra

Si se tiene una muestra muy pequeña, podría no representar significativamente a la población y no proporcionar información confiable. En el

caso contrario, de estudiar una muestra de gran tamaño, dificulta el estudio experimental, además de incrementar costos y otros recursos como el tiempo y mano de obra.

## 2.6. Técnica de muestreo sistemático

Según Mendenhall *et al.*, (1992), “El objetivo del muestreo es estimar parámetros de la población, tales como la media o el total, con base en la información contenida en una muestra” (p. 22)

“La mayoría de los planes de muestreo para el control de calidad industrial suelen ser sistemáticos en estructura” (Mendenhall *et al.*, 1992, p.170).

“Es más fácil de realizar y que está menos expuesto al error del entrevistador, el muestreo sistemático frecuentemente proporciona más información que el muestreo irrestricto aleatorio por unidad de costo” (Mendenhall *et al.*, 1992, p.169).

Según estos autores el investigador debe establecer un límite para el error de estimación (B), conocer la varianza muestral que provenga de estudios similares anteriores, de una población aleatoria, donde  $\rho \approx 0$  entonces se pueda reemplazar  $\sigma^2$  por  $s^2$  y contar con un número total de unidades (N).

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad (\text{EC. \#6})$$

#6)

$$D = \frac{B^2}{4} \quad (\text{EC. \#7})$$

Para seleccionar qué unidades experimentales conformarán la muestra es necesario un punto de partida  $k$  considerando que  $k$  debe ser menor o igual que  $N/n$ . Con  $k$  establecido se selecciona aleatoriamente un elemento de los primeros  $k$  elementos en el marco y después cada  $k$ -ésimo elemento para formar una muestra sistemática de 1 en  $k$ .

## **2.7. Prueba Post Hoc**

Si el resultado del ANOVA fue el rechazo de hipótesis nula (igualdad de medias), se hace necesario identificar qué media es la que causa diferencias y para ello se aplica alguna de las pruebas llamadas Post-Hoc.

## **2.8. Prueba Bonferroni**

Según Luna (2004), “Cuando se quieran comparar dos poblaciones a través de  $K$  características medidas en una muestra de cada una de ellas, cada comparación individual ha de hacerse a un error de  $\frac{\alpha}{K}$  si se desea obtener un error global de  $\alpha$ .” (p.272).

## **2.9. Verificar supuestos**

Según Pulido *et al.*, (2018), “Los supuestos del modelo del análisis de varianza deben verificarse antes de dar por válidas las conclusiones de la etapa de interpretación” (p.182). Los supuestos que se verifican son normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos.

De acuerdo Pulido *et al.*, (2018) es “común utilizar la muestra de residuos para comprobar los supuestos del modelo, ya que, si los supuestos se cumplen,

los residuos o residuales se pueden ver como una muestra aleatoria de una distribución normal con media cero y varianza constante” (p.81).

### **2.9.1. Normalidad – Kolmogorov Smirnov**

Se verificará si los datos tomados como muestra fueron generados por un proceso normal, mediante las siguientes hipótesis:

Para probar normalidad se deben plantear las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: datos con distribución normal

H<sub>a</sub>: datos con distribución no normal

La hipótesis se prueba mediante el estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov.

$$D = \max |F_n(x) - F_o(x)|$$

(EC.#8)

Donde,  $F_n(x)$  la función de distribución muestral,  $F_o(x)$ , la función teórica correspondiente a la población normal.

### **2.9.2. Homocedasticidad – Levene**

Las hipótesis para evaluar igualdad de varianzas son:

H<sub>0</sub>:  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$

H<sub>a</sub>:  $\sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$  para algún  $i \neq j$

La hipótesis se prueba mediante el estadístico de prueba de Levene.

$$W_{ij} = |x_{ij} - \bar{x}_i|$$

(EC. #9)

Sea  $x_{ij}$  el dato  $j$  correspondiente a la muestra  $i$ , y  $\bar{x}_i$  representa a la mediana de la muestra  $i$ . A cada dato se le resta el valor de la mediana de su muestra y a esa diferencia se aplica el valor absoluto. Con los valores de  $W_{ij}$  se realiza un análisis de varianza de un solo factor para comprobar hipótesis de igualdad de varianzas.

Según Montgomery *et al.*, (2004), “evalúa si la media de las desviaciones de las observaciones es igual o no para todos los tratamientos. Cuando las desviaciones medias son iguales, las varianzas de las observaciones de todos los tratamientos serán iguales” (p.82).

### **2.9.3. Independencia – Durbin Watson**

Según Montemayor (2018) esta prueba permite probar autocorrelación de primer orden si los residuales del periodo  $\varepsilon_t$  (residuos anteriores) están correlacionados de forma positiva o negativa con  $\varepsilon_{t-1}$  (residuos posteriores).

Para evaluar independencia, se plantean las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: Existe aleatoriedad entre los datos

H<sub>a</sub>: No existe aleatoriedad entre los datos

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2}$$

(EC.

#10)

Al continuar con la definición de Montemayor (2018), el estadístico de Durbin-Watson “mide la asociación entre  $\varepsilon_t$  y entre  $\varepsilon_{t-1}$  y toma valores de 0 a 4, donde los valores cercanos a 0 indican la presencia de autocorrelación positiva y valores cercanos a 4 indican la presencia de autocorrelación negativa” (p.78).

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2}$$

(EC.#11)

Para conocer si los datos son independientes entre sí, se decide mediante la siguiente regla

Sí  $d < d_{L, \alpha}$ , se rechaza  $H_0$ ;  $d > d_{L, \alpha}$  no se rechaza  $H_0$ ;  $d_{L, \alpha} \leq d \leq d_{U, \alpha}$ , prueba inconclusa.

Para probar autocorrelación negativa, la regla de decisión es:

Sí  $(4-d) < d_{L, \alpha}$ , se rechaza  $H_0$ ,  $(4-d) > d_{U, \alpha}$ , no se rechaza  $H_0$ ,  $d_{L, \alpha} \leq (4-d) \leq d_{U, \alpha}$ , prueba inconclusa.

## **2.10. Transformaciones**

En algunos casos prácticos los datos no siguen una distribución normal, por lo que, según Pulido *et al.*, (2018) la transformación más apropiada de la respuesta para corregir o minimizar los problemas de falta de normalidad y de varianza constante, depende del tipo de relación que existe entre la media y la varianza de Y. Esta relación se puede visualizar en la gráfica de residuos vs. Predichos.

## **2.11. Vida útil de anaquel**

El concepto de vida útil de anaquel según Almachi (2009) “Es el tiempo que tiene un alimento antes de ser declarado no apto para consumo humano” (p.31). Las principales evidencias de un producto no apto para el consumo son los cambios físicos y químicos.

### **2.11.1. Cambios físicos**

Con base en el comentario de Bustamante (2015) “Si las fluctuaciones son mayores y el alimento sufre un cambio de fase entonces hay cambios indeseables más notorios, por ejemplo, cambios causados en el descongelado y congelado nuevamente del alimento” (p. 12).

### **2.11.2. Cambios químicos**

De acuerdo con Man y Jones (1997) la presencia de oxígeno en los alrededores del alimento lleva a aumentar las velocidades de oxidación. De forma semejante, el agua juega un papel importante; la oxidación de los lípidos ocurre

más rápido a actividad de agua muy bajas. Es importante tomar en cuenta la temperatura del medio ambiente.

## **2.12. Empaque**

Pérez (2012) define empaque como “La presentación comercial del producto, contribuye a la seguridad de éste durante el desplazamiento, y logra su venta; le otorga una buena imagen y lo distingue de la competencia” (p.11).

Una de las principales funciones que debe cumplir un empaque es brindar protección al producto que contiene, tanto protección física como química. Para los productos alimenticios, cuyo tiempo de vida útil regularmente es corto, el empaque juega un papel importante de acuerdo con el hermetismo que proporcione, ya que proporciona una barrera entre el producto y el medio ambiente que contiene factores que amenazan su estado y calidad.

### **2.12.1. Vidrio**

Dentro de las bondades de los envases de vidrio es la conservación las características de lo que en su interior almacena, como ejemplo aromas, texturas, aspecto, sin importar que se almacenen por tiempo prolongado.

Además, es impermeable a gases, líquidos, vapores y es fácil de lavar e inodoro, es decir, no transfiere sabores ni los modifica.

### **2.12.2. Biodegradable**

Según Contreras *et al.*, (2019) como respuesta a estas exigencias, algunas empresas han modificado sus procesos haciéndolos más amigables al medio ambiente y aplicando el marketing verde en toda la cadena de valor. Dentro de estos procesos el empaquetado o envasado es muy importante, ya que además de cumplir la función de proteger al producto de cualquier daño y prolongar su vida útil, no deberá contaminar al medio ambiente.

De esta necesidad surgen los empaques biodegradables como una respuesta a estas demandas del consumidor. Con un claro poder diferenciador que es la protección ambiental, los empaques biodegradables se están convirtiendo en una ventaja competitiva para algunas empresas.

### **2.13. Método de recolección de datos**

En este método, según Quintana y Romaní (2015) “Calculan el porcentaje de agua por la pérdida en peso debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas” (p.3).

El método de Karl Fischer, como lo explica Alkemi (2017) se basa en un reactivo que consigue una reacción química que involucra al agua. Se utiliza en alimentos con bajo contenido en humedad.

El método de secado en termobalanza, como lo define Microlab Industrial (2017) es colocar una porción de muestra en la termobalanza, se pesa, se expone a una temperatura y se deja durante un periodo de tiempo, hasta que finaliza el secado y arroja el resultado de la humedad en valores porcentuales.

Figura 5. **Termobalanza para el método de secado**



Fuente: Microlab Industrial (2018). *Método de la termobalanza.*



### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos, se presentan los resultados obtenidos.

Objetivo 1: determinar el tamaño de muestra óptimo de la cantidad de empaques de galletas a utilizar en el experimento por medio de las técnicas de muestreo.

#### 3.1. Tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra, se definieron los valores de los componentes del código `pwr.anova.test`( $k$  = número de grupos,  $f$  = tamaño del efecto, `sig.level` = nivel de significancia, `power` = potencia deseada de la prueba) en RStudio, como  $k=3$ ,  $f=0.4$ ,  $\alpha=0.05$  y potencia= 0.90.

El grado de significancia y la potencia usualmente son establecidos de acuerdo con el criterio de experimentador y son independientes de los datos.

Caso contrario a la determinación del tamaño del efecto, el cual sí depende de datos generados en alguna prueba piloto o estudios anteriores similares. El cálculo del tamaño del efecto se realizó tomando como referencia valores convencionales descritos como tamaño grande, mediano y pequeño con valores de 0.8, 0.4 y 0.1 respectivamente.

Al sustituir los valores en el código de la figura 6, y al conocer la procedencia de los componentes  $k$ ,  $f$ ,  $\alpha$  y potencia, se procedió a calcular el tamaño de la muestra mediante el siguiente script utilizando RStudio.

Figura 6. **Determinación del tamaño de la muestra en RStudio**

```
pwr.anova.test(k=3, f= 0.4, sig.level = 0.05, power =0.90)
```

Fuente: elaboración propia, usando RStudio.

Con lo que se obtiene un tamaño de muestra para cada grupo o nivel  $n=27$  cajas de galletas de mantequilla para este caso.

Adicional, se consideraron otros criterios importantes como los recursos disponibles, por lo que se tomó un tamaño de muestra por grupo de  $n=25$  cajas de galletas de mantequilla.

### **3.2. Muestreo sistemático**

Al conocer el tamaño de la muestra  $n$ , se seleccionó, mediante el muestreo sistemático, las unidades experimentales que conformaron las 25 muestras de cada grupo o nivel. Para esto, se tomó como población de estudio un lote de producción ( $N= 250$ ), en donde las unidades experimentales fueron empaques de galletas de mantequilla que debieron cumplir ciertos criterios de selección para ser tomadas en cuenta dentro de la muestra que se seleccionó de forma aleatorizada.

Dentro de los criterios de selección se tienen que las unidades experimentales son empaques de galletas de mantequilla, laminadas a 2.5 mm, con peso unitario de 15 gramos, troqueladas con cortador circular de 6 centímetros, horneadas a 175 °C por 15 minutos.

Para conocer  $k$ , se procede a obtener la relación de  $N/n$ , se sustituye,  $250/75$ , y se obtiene como resultado  $k=3$ . Es decir, se seleccionará una muestra sistemática de 1 en 3.

Objetivo 2: determinar si existe diferencia significativa en el tipo de empaque utilizado para justificar a nivel industrial la introducción de un empaque amigable con el medio ambiente, por medio del análisis de varianza de un solo factor y pruebas post-hoc.

### **3.3. Análisis ANOVA**

Con los resultados de humedad recolectados al día 30, se procede con el arreglo de los datos para en análisis ANOVA en Infostat, del cual se obtienen la siguiente tabla.

#### **3.3.1. Planteamiento de hipótesis**

$H_0$ = No existe diferencia significativa en el valor medio de la humedad en las galletas.

$H_a$ = Al menos una media de los valores de humedad es diferente.

$\alpha$ = 0.05

Regla de decisión: Si  $P\_valor > \alpha$ , se acepta  $H_0$

Tabla VI. **Tabla ANOVA**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P_valor</b>
Modelo	7.81	2	3.90	13.75	<0.0001
Tipo de empaque	7.81	2	3.90	13.75	<0.0001
Error	20.44	72	0.28		
Total	20.25	74			

Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos de análisis ANOVA que se muestran en la tabla V se aplica la regla de decisión y  $0.0001 < 0.05$ , por lo que se rechaza  $H_0$ , y sí existe diferencia en los valores de humedad en al menos una media.

Objetivo 3: verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia, además de la ausencia de observaciones atípicas o aberrantes, para comprobar la validez de los resultados del análisis de la varianza mediante pruebas formales de Kolmogórov-Smirnov, Levene y Durbin-Watson.

### **3.4. Normalidad**

Se plantean las hipótesis para validar normalidad.

$H_0$ : Los residuos de los datos siguen una distribución normal

$H_a$ : Los residuos de los datos no siguen una distribución normal.

$\alpha$ : 0.05

Regla de decisión: Si  $P\text{-valor} > \alpha$ , se acepta  $H_0$ .

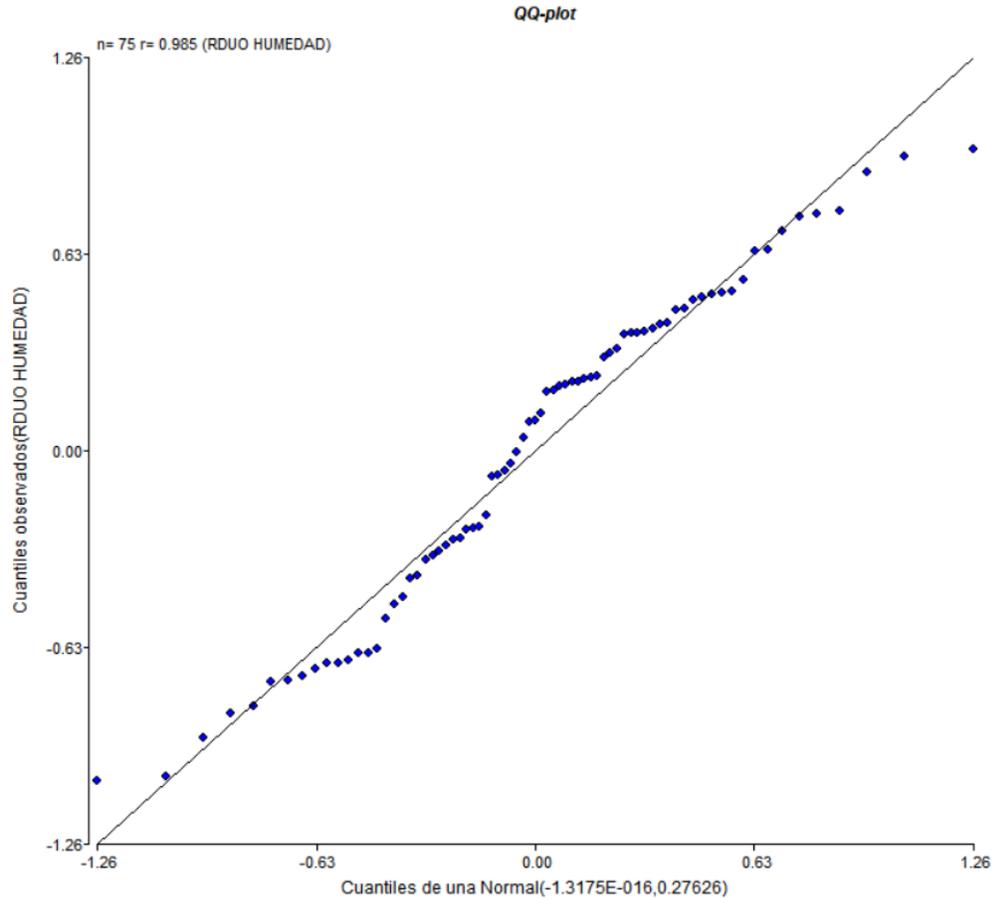
Tabla VII. **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Variable	n	P_valor
RDUO Humedad	75	0.008066

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el valor del estadístico de prueba es  $0.008066 < 0.05$  se rechaza  $H_0$ , y los datos no se distribuyen normalmente.

Figura 7. **QQ-Plot para prueba de normalidad de los residuos**



Fuente: elaboración propia.

Los residuos no se ajustan a la curva de forma lineal, y de acuerdo con el resultado de la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov, los valores no se distribuyen de forma normal.

### 3.5. Homocedasticidad

$H_0$ : Los residuos absolutos tienen varianzas iguales

$H_a$ : Los residuos absolutos no tienen varianzas iguales

$\alpha$ : 0.05

Regla de decisión: Si  $P\text{-valor} > \alpha$ , se acepta  $H_0$

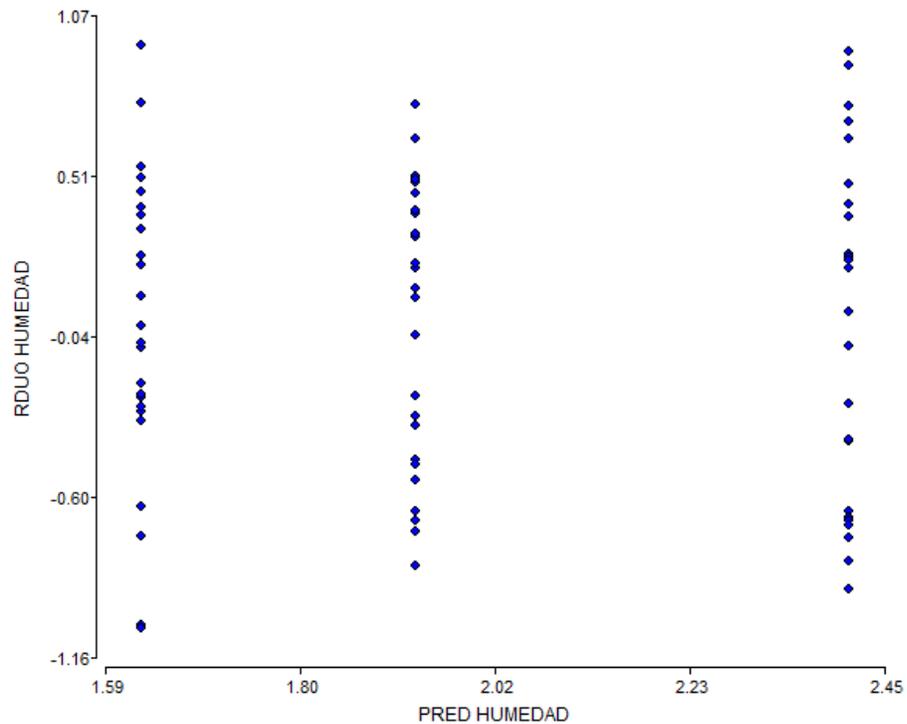
Tabla VIII. **Prueba de Levene de los residuos**

	Df	F value	P_valor
Grupo	2	0.8268	0.4415
	72		

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la prueba de Levene muestran un valor del estadístico de prueba de  $0.4415 > 0.05$ , con lo cual se acepta  $H_0$ , y los residuos absolutos tienen varianzas iguales.

Figura 8. Homocedasticidad



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica de los residuos frente a los valores estimados se observa que los residuos se mueven de forma constante y estable. Se puede concluir con base a la prueba gráfica y la prueba formal de Leve que sí existe igualdad en las varianzas.

### 3.6. Transformaciones

Debido a que se viola el supuesto de normalidad del ANOVA, se realizaron cuatro transformaciones hasta lograr cumplir los supuestos.

Tabla IX. **Prueba de Kolmogorov-Smirnov de los residuos transformados**

	Kolmogorov-Smirnov P_valor	Regla de decisión
RDUO Log10	0.0020	Rechaza Ho
RDUO Raíz Cuadrada	0.0070	Rechaza Ho
RDUO Potencia^2	0.2000	Acepta Ho
RDUO Inversa	0.0000	Rechaza Ho

Fuente: elaboración propia.

De los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov de los residuos transformados, la Potencia al cuadrado es la única transformación cuyos residuos se distribuyen de manera normal y cumplen el supuesto de normalidad del ANOVA.

Tabla X. **Prueba de Levene de los residuos absolutos transformados**

	Df	F value	P_valor
Grupo	2	6.5987	0.002337
	72		

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la prueba de Levene de los residuos transformados muestran un valor del estadístico de prueba de  $0.002337 < 0.05$ , con lo cual se rechaza Ho, y los residuos absolutos no tienen varianzas iguales, lo que incumple con el supuesto de homocedasticidad.

Se realizó el análisis de la varianza con Kruskal Wallis, ya que ninguna transformación logró cumplir los supuestos de normalidad y homocedasticidad, por lo que se resolvió con métodos no paramétricos.

Tabla XI. **Prueba Kruskal-Wallis**

H de Kruskal-Wallis	gl	P_valor
19.114	2	0.000

Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos con la prueba Kruskal-Wallis, se aplica la regla de decisión y  $0.000 < 0.05$ , por lo que se rechaza  $H_0$ , y sí existe diferencia en los valores de humedad en al menos una media.

Debido a que sí existe diferencia entre los valores medios de humedad en cada uno de los tres empaques, se hace necesario identificar cuál de las tres medias es la que genera esta diferencia considerada significativa, por lo que se realiza la prueba Post Hoc con ajuste de Bonferroni.

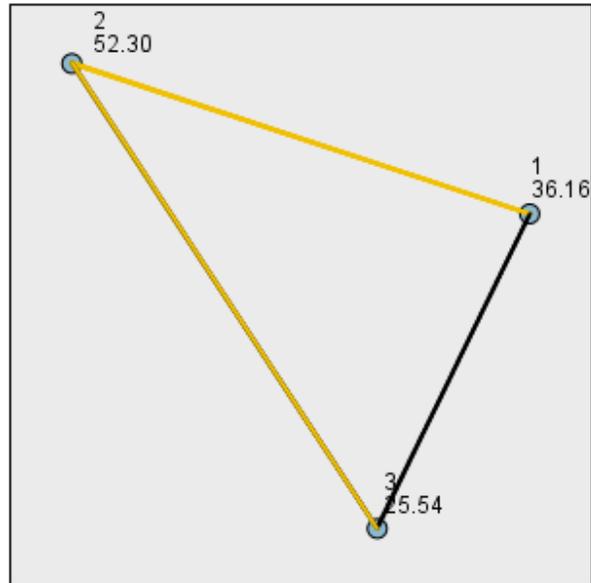
Tabla XII. **Prueba post hoc Bonferroni**

Muestra	P_valor	P_valor ajustado
Biodegradable-Vidrio	0.085	0.255
Biodegradable-Control	0.000	0.000
Vidrio-Control	0.009	0.027

Fuente: elaboración propia.

La prueba post hoc Bonferroni muestra los resultados comparativos entre los tres empaques, por parejas, y se observa que existen diferencias significativas en los valores de humedad de los tratamientos biodegradable-control y vidrio-control.

Figura 9. **Comparaciones entre parejas de empaque**

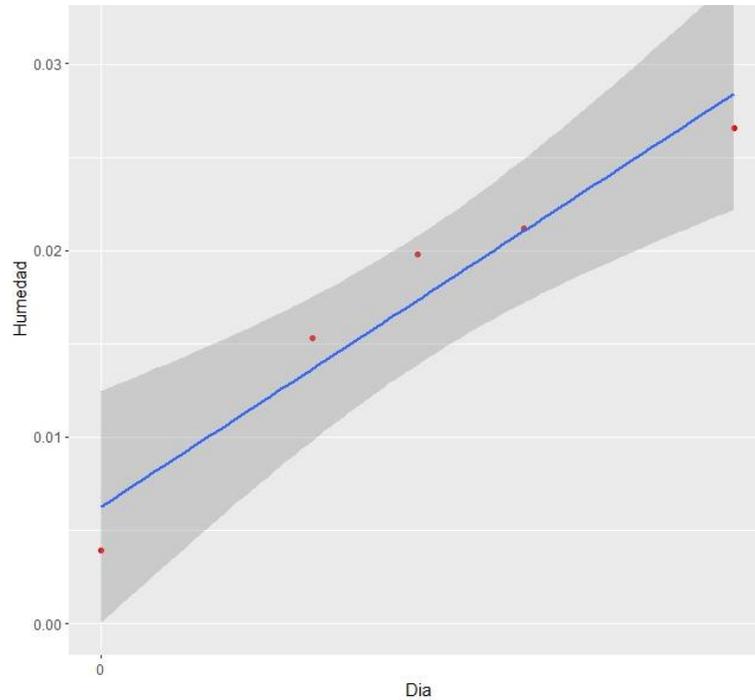


Fuente: elaboración propia.

Objetivo General: Caracterizar el efecto que tiene sobre el tiempo de vida útil de galletas de mantequilla el variar el tipo de empaque, por medio del diseño experimental para prolongar las condiciones aptas para el consumo.

Se desarrolló un modelo, para cada tratamiento, que explique el efecto que tienen los valores de humedad sobre el tiempo de vida útil de las galletas. Este modelo estima los días aptos para el consumo en función de la humedad que adquiera el producto.

Figura 10. **Gráfica para valores de humedad empaque control**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica para valores de humedad en empaque control, se obtuvo como resultado que los datos de humedad siguen una línea recta, por lo que se trabajó la estimación del tiempo de vida con un modelo de regresión lineal despejando la variable días.

Tabla XIII. **Valores para el modelo lineal de empaque control**

Valores	Coeficientes
Intercepción	-7.035596174
Humedad	1269.331577

Fuente: elaboración propia.

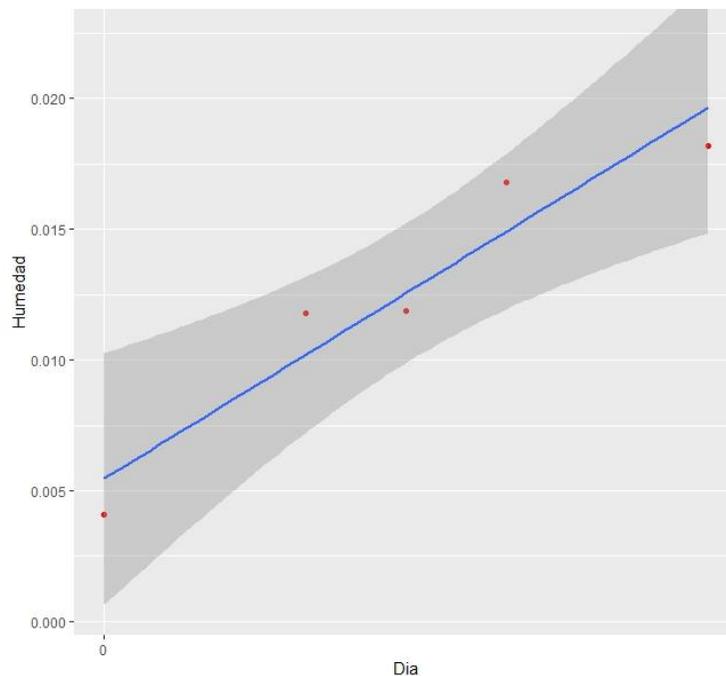
De la tabla de valores para el modelo lineal de empaque control, se obtuvo la ecuación de regresión lineal que explica el comportamiento de dicho empaque así:

$$x_{\text{días}} = 1269.331577y - 7.035596$$

(EC.#12)

En donde  $y$  son los valores de humedad, y  $x$  los días de vida útil. Con este modelo se procedió a estimar los días aptos para el consumo, dado un valor de humedad crítico, el cual se definió en el porcentaje máximo que conserva las características sensoriales del producto. Este valor es 1.8 % de humedad.

Figura 11. **Gráfica para valores de humedad empaque de vidrio**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica para valores de humedad en empaque de vidrio, se obtuvo como resultado que los datos de humedad siguen una línea recta, por lo que se trabajó la estimación del tiempo de vida con un modelo de regresión lineal.

Tabla XIV. **Valores para el modelo lineal de empaque de vidrio**

Valores	Coefficientes
Intercepción	-9.273853496
Humedad	1932.631648

Fuente: elaboración propia.

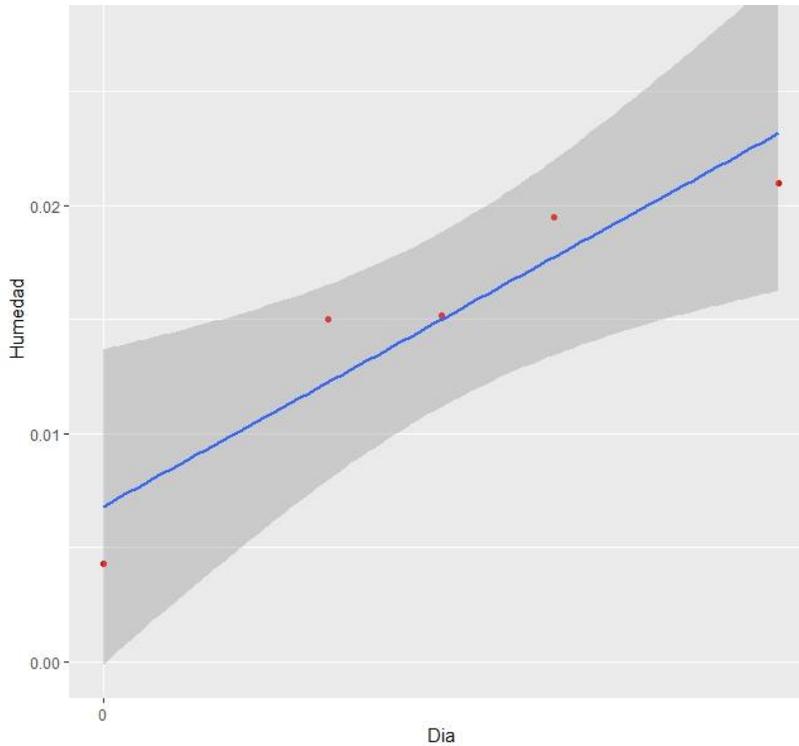
De la tabla de valores para el modelo lineal de empaque de vidrio, se obtuvo la ecuación de regresión lineal que explica el comportamiento de dicho empaque así:

$$x_{días} = 1932.631648y - 9.273853496$$

(EC.#13)

En donde  $y$  son los valores de humedad, y  $x$  los días de vida útil. Con este modelo se procedió a estimar los días aptos para el consumo, dado un valor de humedad crítico, el cual se definió en el porcentaje máximo que conserva las características sensoriales del producto. Este valor es 1.8 % de humedad.

Figura 12. **Gráfica modelo lineal de empaque biodegradable**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica para valores de humedad en empaque biodegradable, se obtuvo como resultado que los datos de humedad siguen una línea recta, por lo que se trabajó la estimación del tiempo de vida con un modelo de regresión lineal.

Tabla XV. **Valores para el modelo lineal de empaque biodegradable**

Valores	Coefficientes
Intercepción	-8.97821759
Humedad	1598.547839

Fuente: elaboración propia.

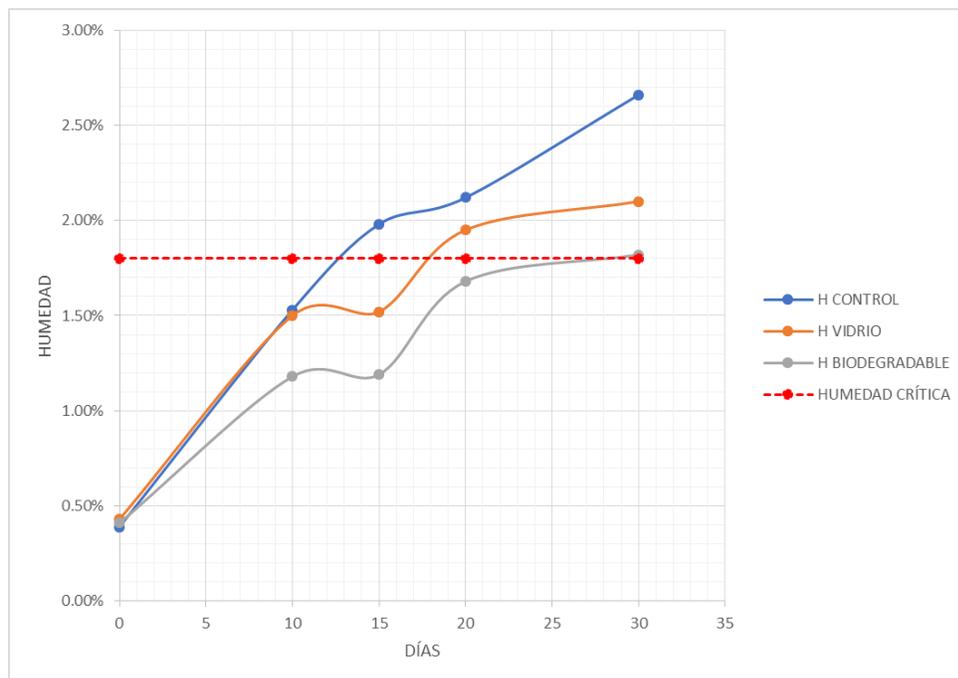
De la tabla de valores para el modelo lineal de empaque biodegradable, se obtuvo la ecuación de regresión lineal que explica el comportamiento de dicho empaque así:

$$x_{días} = 1598.547839y - 8.97821759$$

(EC. #14)

En donde  $y$  son los valores de humedad, y  $x$  los días de vida útil. Con este modelo se procedió a estimar los días aptos para el consumo, dado un valor de humedad crítica, el cual se definió en el porcentaje máximo que conserva las características sensoriales del producto. Este valor es 1.8 % de humedad.

Figura 13. **Gráfico estimación días de vida útil por empaque**



Fuente: elaboración propia.

Del gráfico estimación días de vida útil por empaque, se obtuvo como resultado que el empaque que produce mejores efectos en el tiempo apto para el consumo es el biodegradable, que ofrece entre 30 y 31 días, también cumple con las condiciones óptimas de calidad y respetando el límite de humedad máximo de 1.8 %. Como segunda alternativa, se observó que el empaque de vidrio ofrece entre 15 y 17 días, y finalmente, el empaque de menor efecto, ofreciendo entre 10 y 12 días, fue el empaque control.

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Análisis interno del estudio

El tamaño de la muestra puede estar limitado por la disponibilidad de recursos con los que el investigador cuente. El tamaño de la muestra obtenido por cada grupo, en esta investigación se ajustó a los recursos disponibles y la muestra fue analizada en su totalidad, dando certeza de que los resultados obtenidos son representativos a la población total del lote de galletas.

Para la recolección de datos, se pretendía medir la humedad de las galletas diariamente, pero, la disponibilidad del equipo de medición se redujo debido a la introducción de nuevos desarrollos que tienen como parámetro crítico los valores de humedad. Por lo que se planteó un cronograma de mediciones periódicas, iniciando el día 0 y finalizando el día 30.

Esto redujo la cantidad de datos para el planteamiento de las regresiones lineales, sin embargo, estas regresiones pueden trabajarse con más de 2 valores. Para este estudio se recolectaron 5 valores de humedad, que representaban los cambios del producto durante 30 días.

La vida útil de los productos alimenticios está sujeta a varios factores controlables y no controlables, sin embargo, para esta investigación se tomó como único factor de interés el empaque, el cual se probó en tres niveles, siendo éstos empaque de plástico, vidrio y biodegradable.

Con los resultados del análisis ANOVA, se pudo comprobar que, con el estudio de un solo factor se generaron cambios significativos en los valores medios de humedad. Estos resultados generaron información contundente en cuanto a la selección del mejor empaque para prolongar las características de calidad de las galletas.

Para la validación del supuesto de normalidad de los residuos generados por el ANOVA, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov lo que dio como resultado la violación de este supuesto, por lo que el ANOVA no es considerado válido. Con la finalidad cumplir el supuesto de normalidad, se realizaron cuatro transformaciones de los datos de humedad, raíz cuadrada, Logaritmo 10, Potencia al cuadrado e Inversa.

Con cada transformación se realizó un ANOVA, y se evaluaron los residuos en búsqueda de normalidad, dando como resultado que la transformación de Potencia al cuadrado cumplió con el supuesto.

Posteriormente se procedió a validar homocedasticidad de los residuos absolutos transformados mediante la prueba de Levene, con la cual quedó rechazada la hipótesis nula, y se incumple con el supuesto de homocedasticidad.

Los resultados generados con las transformaciones indicaron que el ANOVA no es válido para el experimento, por lo que se realizó el análisis de varianza no paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis.

- Análisis externo del estudio

Para diseñar un experimento, Tanco (2008) explica las actividades básicas iniciando por la formación de grupo de trabajo, lluvia de ideas para luego

sintetizarlas en n factores. Para esta investigación, se realizó un Diagrama de Ishikawa en el cual se refleja el problema principal, así como sus posibles causas y efectos, de los cuales se seleccionó el que se consideró de mayor impacto en el tiempo de vida útil de las galletas.

Según el estudio de Gewerc y Muñoz (2006), para realizar un estudio de tiempo de vida útil en el área de alimentos, es importante tomar en cuenta la fórmula del producto, el envase y dimensiones. Estas consideraciones fueron tomadas en cuenta para la selección de los factores de interés en el presente estudio, hasta identificar el de mayor impacto y aplicarle las pruebas estadísticas necesarias.

Con base al trabajo de investigación de Fernández *et al.*, (2001) en el que describe las características del muestreo sistemático, como la extensa aplicabilidad que posee a nivel industrial, así como la facilidad de comprensión y ejecución, se toma como la mejor propuesta para la selección de las unidades experimentales que conformarán el tamaño de muestra del presente estudio de investigación.

En otros estudios, como confirma Labuza, (1999), las pruebas de vida útil de los productos alimenticios se realizan de forma empírica, es decir, sin consideraciones experimentales.

En el presente trabajo de investigación, se lleva paso a paso, desde el diseño del experimento, hasta el análisis ANOVA que compara los valores medios de humedad, lo que permite que cumpla con los principios del diseño experimental y tratamiento estadístico formal.

Para la validación de supuestos Pulido (2008) explica que para la validez del experimento debe cumplirse con el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia, esto supone que los residuos se distribuyen normales, independientes y con varianza constante.

La violación grave de cualquiera de estos supuestos conduce a conclusiones erróneas. El cumplimiento de estos supuestos, reflejan que se realizó una correcta planeación del experimento y que los errores no provienen del investigador.

En la búsqueda de cumplir con la validación externa del experimento, las pruebas se realizaron con equipos, utensilios, procesos, lotes y participantes que se desempeñan diariamente en la planta de producción, para que el experimento fácilmente pueda ser replicado en otros productos sin importar si son exclusivamente de galletería.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó el tamaño de la muestra representativo y adecuado a los recursos disponibles es  $n=25$  empaques de galletas, a las cuales se les asignó uno de los tres tratamientos de forma aleatoria, y fueron seleccionadas mediante un muestreo sistemático cada  $k=3$ , de un lote de producción de 250 galletas.
2. Se estableció que existe diferencia significativa entre cada tipo de empaque con un nivel de significancia del 95%, siendo el mejor el empaque el biodegradable ya que los valores de humedad registrados fueron los menores
3. Se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo, los datos no siguen una distribución normal, no presentan varianzas iguales y sí fueron tomados de forma aleatoria.
4. Se caracterizó, por medio del diseño experimental, que el empaque que conserva las características de calidad de las galletas es de material biodegradable debido a que presentó los valores medios de humedad más bajos después de permanecer almacenadas por 30 días.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar un número mayor de unidades experimentales para prolongar los días de evaluación de humedad en las galletas y conocer más allá el comportamiento de vida útil de las galletas.
2. Evaluar la posibilidad de agregar la temperatura como factor de bloque y desarrollar el experimento bajo un diseño en cuadro latino para dos factores de bloque.
3. Verificar los supuestos con el uso de la variedad de pruebas que existen para probar normalidad, homocedasticidad e independencia con el fin de realizar comparaciones que aporten más información sobre la potencia de estas pruebas.
4. Utilizar el empaque fabricado con material biodegradable para un proceso integral y cumplir con el compromiso ambiental además de optimizar las características de vida útil de las galletas.



## REFERENCIAS

1. Alkemi. (12 de mayo de 2017). *Determinación de la humedad alimentaria: Métodos. Determinación de la humedad alimentaria.* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://alkemi.es/blog/determinacion-humedad-alimentaria>.
2. Almachi Toapanta, S. G. (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.* (Tesis de investigación). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3953>
3. Anzueto, C. (24 de noviembre de 2018). *Modelos matemáticos para estimación de vida útil de alimentos.* San Salvador, El Salvador: OSMOSIS.
4. Beltrán, Orozco, M. D. C., J. H. Rendón Meza y T. Gallardo, Velásquez. (diciembre 2007). Cinética de las Características Físicas de Mantecadas Bajas en Grasa Almacenada en dos tipos de Material de Empaque durante su Vida de Anaquel. *Información tecnológica.* (18), 13-22.
5. Bustamante Oyague, B. (2015). *Estudio de la vida útil de galleta salada mediante la ecuación de Arrhenius.* Perú: Universidad Nacional del Callao. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/1104>

6. Carvajal Castillo, M. (2019). *Análisis de Varianza de un factor*. Guatemala: Universidad de San Carlos, Guatemala.
7. Clifton Packaging. (10 de febrero 2019). *Gel de sílice absorbentes de humedad*. Clifton. Recuperado de: <https://www.cliftonpackaging.com.mx/absorbentes-de-humedad-y-gel-de-silice/>
8. Fernández C. (2001). *Aplicación del muestreo sistemático en el diseño de encuestas*. España: IDUS. Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/42232>
9. Herling, V. A., y Rivero, G. A. (2006). *Desarrollo de una galleta tipo snack en base a algas comestible con enfoque al mercado asiático*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/qf-gewerc\\_v/pdfAmont/qf-gewerc\\_v.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/qf-gewerc_v/pdfAmont/qf-gewerc_v.pdf)
10. Ilzarbe Izquierdo, L., Tanco, M., Viles, E., y Álvarez Sánchez-Arjona, M. (octubre 2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta. *Tecnura*, 10 (20), 127-138. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021012011.pdf>
11. Labuza, T. (1999). *Weibull Sensory Testing Paradigms*. Nueva York: Quality Tecnology. Recuperado de <http://fscn.che.umn.edu/Ted-Labuza/tpl.html>

12. Luna, J. y Martín, A. (21 de septiembre de 2011). *Bioestadística para ciencias de la salud*. Ediciones Norma-Capitel. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://temasdeenfermeria.com.ar/2011/09/bioestadistica/>
13. Mendenhall, W. Scheaffer, R. y Ott, L. (1992). *Elementos de muestreo*. Estados Unidos. Editorial Grupo Editorial Iberoamérica. Recuperado de [https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos\\_de\\_muestreo\\_-\\_schaffer\\_et](https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et)
14. Microlabindustrial (28 de junio de 2011). *Método de la Termobalanza*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.microlabindustrial.com/blog/metodo-de-la-termobalanza>.
15. Montemayor, E. (2018). *Métodos de pronósticos para negocios*. México: Editorial digital Tecnológico de Monterrey. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hEtrDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=jose+enrique+montemayor+&ots=3EptkINVuh&sig=iAFIXLVlxcD1LLo4VLXzHPDaG90#v=snippet&q=durbin%20watson&f=false>.
16. Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Universidad de Guanajuato. Recuperado de [https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o\\_y\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_experimentos\\_Douglas\\_C\\_Montgomery](https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C_Montgomery)
17. Pérez Espinoza, C. (2012). *Empaques y Embalajes*. México, D.F.: Red Tercer Milenio. Recuperado de

[http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/comunicacion/Empaques\\_y\\_embalajes.pdf](http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/comunicacion/Empaques_y_embalajes.pdf)

18. Pulido, H. y Salazar, R. (2018). *Análisis y diseño de experimentos*. (2ª edición). México: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
19. Ramos, G. (8 de mayo de 2017). *Como se eligen las fechas de caducidad y la verdad de si sirve para algo*. El Confidencial. Recuperado de [https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2017-05-08/fecha-caducidad-consumo-preferente-calculador-decision-significado\\_1377858/](https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2017-05-08/fecha-caducidad-consumo-preferente-calculador-decision-significado_1377858/).
20. Salazar, R. y Torres, R. (enero 1977). Almacenamiento de frutos de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) en bolsas de polietileno. *Revista ICA*, 12(1): 1-11. Recuperado <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/583>
21. Sidney, J. (1995). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Guatemala. Editorial Trillas.
22. Terra Grupo. (6 de abril de 2015). *Calcular Tamaño de la unidad experimental*. Scielo. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00135.pdf>
23. Taborga, C., Castellón, R. y Valdivieso, O. (octubre 2010). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. *Revista de Investigación & Desarrollo*. 1(10), 1-50. <http://dx.doi.org/10.23881/idupbo.011.1>

24. Tanco, M., Ilzarbe, L., Viles, E. y Álvarez M. J. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) para la mejora de procesos. *Revista Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (6) 85-95. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/38290275\\_Aplicacion\\_de\\_l\\_Disenio\\_de\\_Experimentos\\_DoE\\_para\\_la\\_mejora\\_de\\_procesos](https://www.researchgate.net/publication/38290275_Aplicacion_de_l_Disenio_de_Experimentos_DoE_para_la_mejora_de_procesos)
25. Universidad de Cartagena (2012). *Conceptualización de un proceso de destilación azeotrópica para el desplazamiento del azeótropo del sistema ácido nítrico/agua*. (Tesis de Grado) Universidad de Cartagena. Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11227/119>
26. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (23 de abril de 2015). *Determinación de humedad en alimentos*. Slideshare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/YAZURAYDY/practica-1-de-analisis-alimentos-humedad-y-masa-seca>
27. Villeda Martínez, E., y Fernández Segovia, I. (28 de junio de 2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Semantic Scholar. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/cc55/d7c5605da5d3ad1d49414e059eb84298c32c.pdf>.
28. Watts, B. (1992). *Métodos sensoriales básicos*. Ottawa: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Canada: Universidad de Manitoba.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

<b>TÍTULO: DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL DE GALLETAS DE MANTEQUILLA MEDIANTE CAMBIOS DE EMPAQUE</b>		
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b>
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>PREGUNTA CENTRAL</b>
Corto tiempo de vida útil en anaquel de galletas de mantequilla	Caracterizar el efecto que tiene sobre el tiempo de vida útil de galletas de mantequilla el variar el tipo de empaque, por medio del diseño experimental para prolongar las condiciones aptas para el consumo	¿Cuál es el efecto del tipo de empaque sobre el tiempo de vida útil de las galletas de mantequilla que permita prolongar las condiciones aptas para el consumo?
<b>PROBLEMAS SECUNDARIOS</b>	<b>ESPECÍFICO</b>	<b>PREGUNTAS ESPECÍFICAS</b>
Cantidad de unidades experimentales para el experimento	Determinar el tamaño muestra óptimo de la cantidad de empaques de galletas a utilizar en el experimento por medio de las técnicas de muestreo.	¿Qué tamaño de muestra se requiere para obtener un estimador poblacional de la vida útil en anaquel de las galletas?
Tipo de empaque	Determinar si existe diferencia significativa en el tipo de empaque utilizado para justificar a nivel industrial la introducción de un empaque amigable con el ambiente, por medio del análisis de varianza de un solo factor y pruebas post hoc	¿Cuál es la diferencia en el tiempo de vida útil de las galletas de mantequilla en relación con el tipo de empaque utilizado?

Continuación apéndice 1.

Validez del experimento	Verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia, además de la ausencia de observaciones atípicas o aberrantes, para comprobar la validez de los resultados del análisis de la varianza mediante pruebas formales de Shapiro Wilks, Levene y Durbin-Watson	¿Cómo demostrar validez del ANOVA?
<b>RESULTADOS</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>
Obteniendo un tamaño de muestra para cada grupo o nivel n= 27 cajas de galletas de mantequilla para este caso	Se determinó el tamaño de la muestra representativo y adecuado a los recursos disponibles es n=25 empaques de galletas, a las cuales se les asignó uno de los tres tratamientos de forma aleatoria, y fueron seleccionadas mediante un muestreo sistemático cada k=3, de un lote de producción de 250 galletas	Se sugiere utilizar un número mayor de unidades experimentales para prolongar los días de evaluación de humedad en las galletas y conocer más allá el comportamiento de vida útil de las galletas
De los resultados obtenidos de análisis ANOVA que se muestran en la tabla V se aplica la regla de decisión y $0.0001 < 0.05$ , por lo que se rechaza $H_0$ , y sí existe diferencia en los valores de humedad en al menos una media.	Se determinó que existe diferencia significativa entre cada tipo de empaque con un nivel de significancia del 95%, siendo el mejor el empaque el biodegradable ya que los valores de humedad registrados fueron los menores	1. Se sugiere evaluar la posibilidad de agregar la temperatura como factor de bloque y desarrollar el experimento bajo un diseño en cuadro latino para dos factores de bloque.

### Continuación apéndice 1.

---

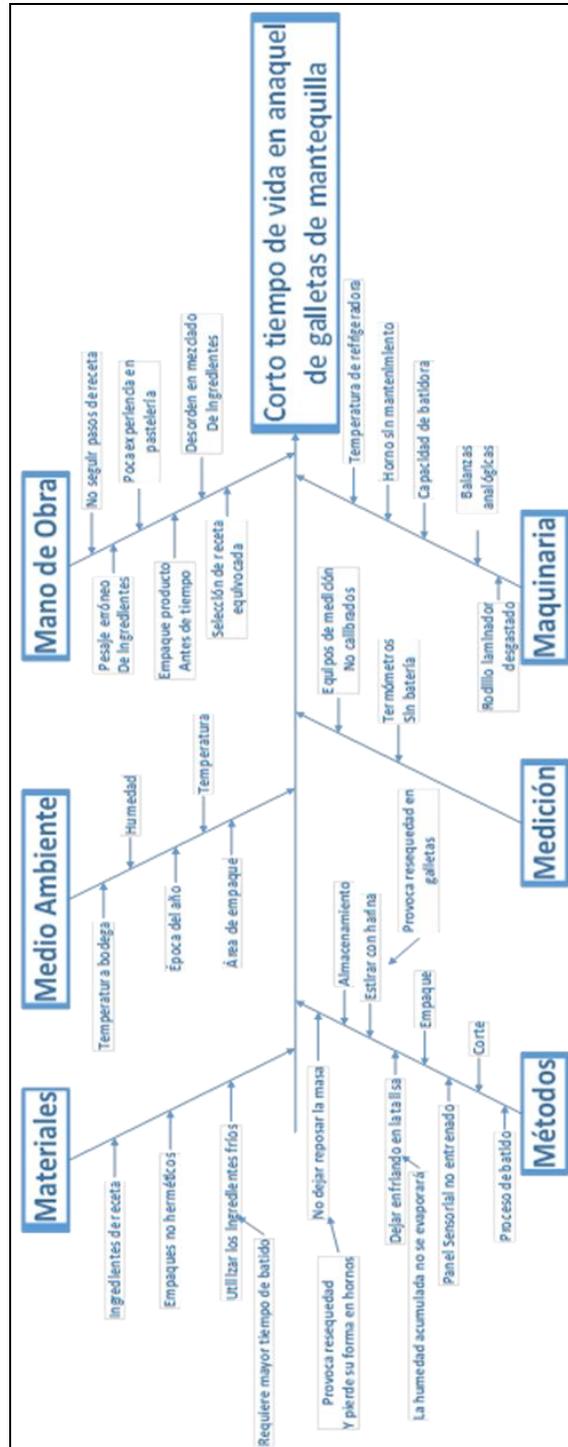
De acuerdo con Shapiro, los datos son normales. De acuerdo con Levene, hay homocedasticidad y según Durwin los datos son independientes.	Se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo, los datos siguen una distribución normal, presentan varianzas iguales y fueron tomados de forma aleatoria	Se sugiere verificar los supuestos utilizando la variedad de pruebas que existen para probar normalidad, homocedasticidad e independencia con el fin de realizar comparaciones que aporten más información sobre la potencia de estas pruebas.
Con los datos de humedad obtenidos de cada empaque, se establece como mejor alternativa el empaque de material biodegradable.	Se caracterizó, por medio del diseño experimental, que el empaque que conserva las características de calidad de las galletas es de material biodegradable debido a que presentó los valores medios de humedad más bajos después de permanecer almacenadas por 30 días	Se sugiere utilizar el empaque fabricado con material biodegradable para un proceso integral y cumplir con el compromiso ambiental además de optimizar las características de vida útil de las galletas

---

Fuente: elaboración propia.



## Apéndice 2. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

