



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN  
DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**

**Heidy Marisol Ramirez Marroquin**

Asesorado por el Ing. Samuel Eduardo Pereda Godínez

Guatemala, julio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN  
DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HEIDY MARISOL RAMIREZ MARROQUIN**

ASESORADO POR EL ING. SAMUEL EDUARDO PEREDA GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissete Estrada Moreira de Rossal
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIO	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:

### **ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería química con fecha 04 de febrero de 2020.

**Heidy Marisol Ramirez Marroquin**

Guatemala 10 de febrero de 2021

Ingeniero  
Williams Guillermo Alvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ingeniero Alvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "Análisis de merma por pérdida de humedad en el proceso de producción de una planta de alimentos balanceados para animales", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Heidy Marisol Ramirez Marroquin, quien se identifica con el registro académico 2015-04324 y con el CUI 2995453770101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



*Samuel Eduardo Pereda Godínez*  
Ingeniero Químico  
Colegiado No. 1172

Samuel Eduardo Pereda Godínez  
ASESOR  
Ingeniero Químico  
Colegiado activo no. 1172



Guatemala, 09 de abril de 2021.  
Ref. EIQ.TG-IF.012.2021.

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **067-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

#### INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Heidy Marisol Ramirez Marroquin**.  
Identificado con número de carné: **2995453770101**.  
Identificado con registro académico: **201504324**.  
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.  
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

### ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Samuel Eduardo Pereda Godínez, profesional de la Ingeniería Química**

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

INGENIERO QUÍMICO  
WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ  
COL. 1734

William Eduardo Fagiani Cruz  
profesional de la Ingeniería Química  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 26 de julio de 2021.  
Ref. EIQ.137.2021

**Aprobación del informe final del trabajo de graduación**

Ingeniera  
Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES** del(la) estudiante Heidy Marisol Ramirez Marroquin, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
Ing. Williams G. Alvarez, M.I.Q. M.U.I.E.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo  
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA**

DTG. 316-2021

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 Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE MERMA POR PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**, presentado por la estudiante universitaria: **Heidy Marisol Ramirez Marroquin**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, julio de 2021

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser un padre amoroso y nunca abandonarme en el proceso para convertirme en la mujer que soy mostrándome su amor incondicional.
- Mi madre** Karen Marroquín, por ser mi mayor ejemplo de vida, de lucha y de fe, por ser mi luz y mi fuerza en los días más difíciles, por amarme con todo su corazón.
- Mi padre** German Ramírez por su amor y apoyo incondicional mostrándome siempre el amor de Dios y la importancia de luchar por lo que quiero.
- Mi hermana** Diana Ramírez, por ser mi compañera y por apoyarme en los días difíciles demostrándome siempre su cariño.
- Mis abuelitos maternos** Orlando Marroquín y Rosa Chinchilla por ser mis segundos padres y ser el pilar que me sostuvo en los momentos más difíciles, por ser dos ángeles en mi vida.

**Mi tío**

Jeffrey Marroquín, por ser mi mayor ejemplo de entrega y amor hacía los demás y guiarme en el proceso que es ser universitario.

**Mis abuelitos paternos**

Germán Ramírez y Estela Carranza, por ser mi mayor fuente de bendición a través de sus oraciones, demostrándome su amor incondicional.

**Mis tíos**

Gloria, Lucy y Román Ramírez, por apoyarme y siempre mantenerme en sus oraciones.

**Julio Marroquín**

Por brindarme su amor y apoyo incondicional, por ser luz en mi vida y demostrarme que era capaz de cumplir mis metas y sueños.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera,  
entre otras cosas.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser una importante influencia en mi carrera,  
entre otras cosas.

**Ing. Samuel Pereda**

Por ser fuente de inspiración y apoyo para  
cumplir este sueño, por darme la oportunidad  
de aprender.

**Mi familia ESIQ 2018**

Julio Marroquín, Daniel Estrada, Henry  
Marroquín, José Pablo Morales y Marleny  
Álvarez por acompañarme en una de las  
mayores aventuras de mi vida y ser fuente de  
apoyo e inspiración en mi vida universitaria.

**Mis amigos**

Por acompañarme, brindarme amor,  
esperanza y fuerza para hacer de esta carrera  
un sueño cumplido.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	III
GLOSARIO .....	V
RESUMEN .....	VII
OBJETIVOS.....	IX
INTRODUCCIÓN .....	XI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Alimentos balanceados.....	5
2.1.1. Control de calidad de los alimentos balanceados.....	6
2.2. Materia prima.....	6
2.2.1. Almacenamiento de materia prima .....	8
2.3. Proceso de producción de alimentos balanceados para animales .....	9
2.3.1. Molienda seca.....	11
2.3.2. Mezcla .....	11
2.3.3. Post Molienda .....	12
2.3.4. Acondicionamiento .....	12
2.3.5. Peletizado .....	13
2.3.6. Enfriado .....	13
2.3.7. Empaque .....	14
2.3.8. Almacenamiento .....	14
2.4. Merma .....	15

2.4.1.	Merma normal .....	15
2.4.2.	Merma anormal .....	15
2.4.3.	Factores que contribuyen a la merma .....	16
2.5.	Humedad en alimentos .....	17
2.5.1.	Contenido en base húmeda .....	18
2.5.2.	Métodos de determinación de humedad .....	19
2.5.2.1.	Método de secado por estufa .....	20
2.5.2.2.	Método por secado en estufa al vacío .....	21
2.5.2.3.	Método de secado halógeno (termobalanza) .....	22
2.5.2.4.	Método de destilación azeotrópica .....	23
2.5.2.5.	Método de Karl Fischer .....	24
2.5.2.6.	Método de capacitancia o conductividad eléctrica .....	25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables .....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	28
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.4.1.	Equipos auxiliares .....	29
3.5.	Técnica cuantitativa.....	29
3.5.1.	Muestras en granos.....	30
3.5.2.	Muestra de materia prima molida o en proceso .....	31
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	33
3.7.	Procesamiento de la información .....	37
3.8.	Análisis estadístico.....	37
3.8.1.	Hipótesis estadísticas.....	37

3.8.2.	Pruebas estadísticas .....	39
3.8.2.1.	Análisis de varianza.....	39
3.8.2.2.	Comparaciones en parejas de Tukey ..	40
3.8.2.3.	Prueba t de Student de dos muestras.....	40
3.8.2.4.	Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu .....	40
3.8.2.4.1.	Análisis de varianza de un factor para las materias primas.....	41
3.8.2.4.2.	Prueba T para la humedad de molienda y enfriado en el proceso de producción.....	56
3.8.2.4.3.	Prueba T para la humedad de mezcla y molienda.....	58
3.8.2.4.4.	Prueba de comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu.....	59
4.	RESULTADOS .....	63
4.1.	Merma por pérdida de humedad en el almacenamiento de materias primas .....	63
4.2.	Merma generada en las operaciones de producción.....	69

4.3.	Análisis de medias de merma generada por la pérdida de humedad en el proceso de producción de alimentos balanceados para animales .....	70
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	73
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	APÉNDICES.....	91
	ANEXO.....	125

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Línea general de producción de alimentos balanceados para animales.....	10
2.	Estufa de secado .....	21
3.	Estufa de secado al vacío .....	22
4.	Secador halógeno (Termobalanza).....	23
5.	Destilación azeotrópica .....	24
6.	Titulador de humedad por método de Karl Fischer .....	25
7.	Determinador de humedad de capacitancia o conductividad eléctrica.....	26
8.	Proceso de determinación de humedad por medio de un secador halógeno (Termobalanza) .....	32
9.	Croquis de recolección de datos de humedad de maíz en grano almacenado en silos.....	33
10.	Croquis de recolección de datos de humedad de materias primas almacenadas en sacos.....	34
11.	Croquis de recolección de datos de humedad de fórmulas en cada una de las operaciones de producción.....	35
12.	Intervalos de confianza de las comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu.....	61
13.	Merma de maíz en grano en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) .....	63
14.	Merma de soya en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton).....	64

15.	Merma de palmiste en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton).....	65
16.	Merma de salvado de trigo en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton).....	66
17.	Merma de granillo de trigo en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton).....	67
18.	Gráfica de merma de destilado de Maíz en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) .....	68
19.	Merma promedio generada en los procesos de producción para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) de producto terminado .....	69
20.	Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu.....	70

## TABLAS

I.	Descripción de la materia prima.....	7
II.	Variables de investigación .....	27
III.	Porcentaje de humedad optima en los procesos de producción de alimentos balanceados para animales.....	36
IV.	Método de interpretación del ANOVA.....	41
V.	Símbolos empleados en ANOVA .....	42
VI.	ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.1 respecto a su tiempo de almacenamiento.....	43
VII.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 1 .....	43
VIII.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 % .....	44
IX.	ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No. 2 respecto a su tiempo de almacenamiento.....	44

X.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 2.....	45
XI.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %.....	45
XII.	ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.3 respecto a su tiempo de almacenamiento .....	46
XIII.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 3.....	46
XIV.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %.....	46
XV.	ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.4 respecto a su tiempo de almacenamiento .....	47
XVI.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 4.....	47
XVII.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %.....	47
XVIII.	ANOVA de la humedad porcentual del palmiste respecto a su tiempo de almacenamiento .....	48
XIX.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de palmiste.....	48
XX.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %.....	49
XXI.	ANOVA de la humedad porcentual del salvado de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento .....	49

XXII.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de salvado de trigo.....	49
XXIII.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 % .....	50
XXIV.	ANOVA de la humedad porcentual de la soya respecto a su tiempo de almacenamiento.....	50
XXV.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de la soya.....	50
XXVI.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 % .....	51
XXVII.	ANOVA de la humedad porcentual sub producto de granillo de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento .....	51
XXVIII.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de granillo de trigo.....	52
XXIX.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 % .....	52
XXX.	ANOVA de la humedad porcentual del destilado de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento .....	53
XXXI.	Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del destilado de trigo.....	53
XXXII.	Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 % .....	53
XXXIII.	Resumen de valores P en análisis de varianza de un factor para la humedad de las materias primas respecto a su tiempo de almacenamiento.....	55

XXXIV.	Resumen de los modelos de ajuste y desviación estándar para la humedad de las materias primas respecto a su tiempo de almacenamiento .....	56
XXXV.	Método de interpretación de prueba T e índices de confianza de dos muestras: molienda (H%); Enfriado (H%).....	57
XXXVI.	Prueba T e índices de confianza de dos muestras: Molienda (H%); Enfriado (H%).....	57
XXXVII.	Método de interpretación de prueba T e índices de confianza de dos muestras: mezcla (H%); molienda (H%).....	58
XXXVIII.	Prueba T e índices de confianza de dos muestras: molienda (H%); Enfriado (H%).....	58
XXXIX.	ANOVA de la merma en cada etapa del proceso de producción de alimentos balanceados de animales .....	59
XL.	Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU.....	60



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$s$	Desviación estándar muestral
$^{\circ}\text{C}$	Grados celcius
<b>g</b>	Gramo
$H_o$	Hipótesis alterna
$H_n$	Hipótesis nula
<b>H</b>	Humedad
$X_{bh}$	Humedad en base húmeda
<b>h</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>mm Hg</b>	Milímetro de mercurio
$\alpha$	Nivel de confianza
$\bar{X}$	Promedio
$W_o$	Peso inicial de muestra
$W_f$	Peso final de muestra
<b>%</b>	Porcentaje
<b>t</b>	Tiempo
<b>Ton</b>	Tonelada métrica



## GLOSARIO

<b>Alimento balanceado</b>	Alimento cuya composición es conocida y se fabrica teniendo en cuenta criterios equilibrio. Mezcla de alimentos precocidos, que contienen todos los ingredientes nutricionales necesarios para cada especie animal y su correspondiente raza, edad, peso corporal, estado fisiológico, entre otros.
<b>Capacitancia</b>	Relación entre la carga eléctrica de cada conductor y la diferencia de potencial entre ellos.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas. Es el organismo nacional de normalización adscrito al Ministerio de Economía, cuya principal función es la de normalización que contribuye a mejorar la competitividad de las empresas y elevar la calidad de los productos y servicios de las empresas que ofertan en el mercado nacional e internacional.
<b>Fórmula alimenticia</b>	Lista o receta de ingredientes seleccionados para la producción de un alimento balanceados con la correcta inclusión de grasas, proteínas, carbohidratos y azúcares para el desarrollo óptimo del animal.

<b>Halógeno</b>	Elemento químico no metal, que forma sales minerales al unirse directamente con un metal.
<b>Humedad</b>	Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.
<b>Merma</b>	Disminución o reducción del volumen o la cantidad de una cosa. Porción que se consume naturalmente o se sustrae de una cosa de forma inesperada.
<b>Mesh</b>	Número de orificios por pulgada lineal en un filtro o malla.
<b>Muestreo</b>	Selección de un conjunto de datos que se consideran representativos del grupo al que pertenecen, con la finalidad de estudiar o determinar las características del grupo.
<b>Pellet</b>	Pequeña porción de material aglomerado o comprimido, un pellet alimenticio es cada uno de los comprimidos en los que suele presentarse el alimento balanceado para animales.
<b>Tamizado</b>	Método mecánico para separar dos sólidos formados por partículas de tamaños diferentes.

## RESUMEN

En este estudio se realizó una descripción del comportamiento de merma generada por la pérdida de humedad en el almacenaje de seis materias primas empleadas en un proceso de producción de alimentos balanceados para animales, seleccionadas por su alto índice de merma de acuerdo con el historial con el que se contaba. Para esto, se realizó el muestreo de las materias primas de acuerdo con la Norma COGUANOR 34 087 a horas establecidas dentro de la empresa productora para obtener las muestras de forma segura. Con estas se determinó la humedad por el método de capacitancia para las materias primas en grano y por el método de secado halógeno (termobalanza) para las materias primas en hojuela o harina.

Con estos datos se calculó la merma generada específicamente por la pérdida de humedad de las materias primas en los períodos máximos de almacenaje, obteniendo tendencias ascendentes en cada una de ellas, y observando que el maíz en grano almacenado en silos es la materia prima que presentó la mayor merma dentro de su periodo de almacenaje.

Además, se realizó el cálculo de la merma generada en cada uno de los subprocesos de producción de alimentos balanceados para animales, tomando muestras en lotes de cinco tipos de alimentos. Por medio del monitoreo de la humedad del producto después de cada proceso se cuantificó la merma promedio producida en cada subproceso para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) de producto terminado y se realizó un análisis de medias por medio del cual se concluyó que la etapa de producción en la que es más probable que se

genere mayor merma es la de acondicionamiento, por lo que se recomienda una corrección y monitoreo más profundo dirigido a esta operación.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Describir el comportamiento de la merma generada por pérdida de humedad en el almacenaje de materias primas y en las etapas del proceso de producción de alimentos balanceados para animales a través de controles periódicos estandarizados, para generar una guía en la toma de decisiones y acciones de su disminución.

### **Específicos**

1. Describir el comportamiento de la merma en masa por pérdida de humedad durante el almacenaje de seis materias primas para la producción de alimento balanceado para animales, utilizando un sistema de mediciones estandarizadas durante su tiempo máximo de almacenaje para orientar medidas de corrección durante este proceso.
2. Estimar la merma por pérdida de humedad en cada etapa del proceso de producción de alimentos balanceados para animales utilizando mediciones estandarizadas que orienten acciones de disminución de merma.
3. Inferir en cual etapa del proceso de producción es más probable que se genere la mayor merma en masa en cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales, por medio de un análisis de medias y obtener

así una base concreta que permita generar acciones correspondientes para la disminución de la merma total de producción.

## INTRODUCCIÓN

Los alimentos balanceados son productos de alta demanda en la industria guatemalteca, ya que un gran porcentaje de la economía del país se limita a la crianza de diferentes especies animales para consumo humano. Los procesos de recepción de materia prima, producción y almacenaje de estos alimentos, por su exposición a fenómenos climáticos y errores humanos generan una variación en los balances de entradas y salidas de la materia prima.<sup>1</sup>

Cuando se desconoce en qué punto del proceso ocurre esta variación o sus causas, se le denomina merma. El mayor reto contra la generación de merma es detectar los puntos dentro del proceso de producción en donde ocurre y dirigir acciones para la disminución de esta.

Con fines de mejora continua del proceso dentro de una empresa de producción de alimentos balanceados para animales, se realizó la descripción de la merma producida por la pérdida de humedad en el período máximo de almacenamiento de seis materias primas seleccionadas por su alto índice de merma de acuerdo con el historial de la empresa. Además, se realizó el monitoreo de la merma por pérdida de humedad generada en cada uno del proceso de producción para obtener cinco distintas fórmulas de alimentos balanceados para animales, a las cuales se aplicó un análisis de medias que muestra en cual etapa del proceso de producción es más probable que se genere la mayor merma en masa y dirigir acciones de disminución de merma en el proceso.

El informe final está estructurado de la siguiente manera. El capítulo 1, presenta los fundamentos del análisis de los estudios previos que respaldan el

---

<sup>1</sup> GONZÁLES MORALES, Narda Soledad. *Control de mermas y desperdicios en almacén de condimentos de industria avícola*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2365\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2365_IN.pdf).

tema de investigación. El capítulo 2, aborda los conceptos básicos de alimentos balanceado para animales, procesos de producción, merma y factores que generan merma. El capítulo 3, presenta las variables, recursos y métodos de investigación, así como las hipótesis estadísticas y sus métodos de análisis. En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos a través de los métodos anteriormente descritos. Por últimos en el capítulo 5 se interpretan los resultados obtenidos durante la investigación.

Este estudio se realizó en apoyo a las acciones de disminución de merma de una planta de producción de alimentos balanceados para animales ubicada en la ciudad de Guatemala y con apoyo de los equipos y métodos análisis empleados dentro de la misma.

## 1. ANTECEDENTES

La ganancia, pérdida o transferencia de humedad en los alimentos por transferencia a la atmósfera u otro componente en un alimento causa deterioración en la calidad de los alimentos. En Francia, los investigadores Roudant, G. y Debeaufort F. realizaron el estudio *“Moisture loss, gain and migration in foods and its impact on food quality”* en el cual se describen los intercambios de humedad de los alimentos al entorno y cómo impacta en la calidad de los alimentos, al generar ablandamiento, endurecimiento, descomposición, hinchazón o contracción de estos. En la investigación se modela la transferencia de humedad de masa de pan a pasas secas almacenados después de tres días de contacto, en el cual se muestra una transferencia de hasta el 40 % del contenido inicial de humedad de la masa de a una distancia de almacenamiento de 0,5 mm respecto a las pasas.

Por su parte Yaisys Blanco Valdes; Hauary Durañona y Rosa Acost Roca, realizaron el estudio *“Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz metálicos refrigerados”* en el que se realiza el control de maíz almacenado en silos al realizar un control común y un tratamiento previo al almacenamiento, al analizar la humedad relativa del grano para el caso del control sin tratamiento, se demuestra que la media de la población estuvo alrededor de 33,2 % ( $33,23 \pm 0,73$  %), a diferencia del tratamiento, que mostró una humedad relativa del grano de 14,35 % ( $14,35 \pm 0,1$  %) en un tiempo de hasta 91 días a partir del inicio del tratamiento, lo que se asocia con una menor pérdida física y económica en el proceso de almacenamiento de los granos de maíz al realizar un tratamiento del maíz.

El estudio se iniciará con el control de humedad en el periodo de almacenamiento de seis materias primas con alto índice de merma de acuerdo a la bitácora de merma de la empresa, aplicando el método de determinación de humedad por conductividad, termobalanza y estufa de secado para el grano basado en los protocolos de Calidad nutricional e industrial de Maíz, aplicados en el Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz “Evangelina Villegas”, del centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de la Ciudad de México cotejados en 2018, ya que en se emplean estos métodos y se emplea el método de determinación de humedad en grano de maíz por capacitancia como un método validado de análisis físico.

En 2001 Adriana Rita Salinas, Ana María Yodjian, Roque Mario Craviotto y Bilma Bisaro realizaron la investigación “*Pruebas de vigor y calidad de fisiológica de semillas de soja*” en el que se concluye La conductividad eléctrica es considerada una buena prueba de vigor para detectar indirectamente las alteraciones en las membranas citoplasmáticas, en estadios tempranos del deterioro de las semillas reflejado en la humedad determinada por este método.

En 2017 Carmen Carvajal, Maritza Márquez, Bárbara Gutiérrez, Alex González- Vera, Julia Arellano y Manuel Ávila realizaron el estudio “*Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya*” utilizando este método para análisis rutinarios en control de calidad de semillas con métodos apropiados como método de estufa, además del uso de método de conductividad eléctrica o capacitancia por su practicidad y rapidez obteniendo resultados precisos siempre que se realice la calibración de equipo al menos dos o tres veces al año utilizando como patrón los resultados de horno o estufa.

En Guatemala se regula la calidad de los alimentos balanceados para animales por medio de las normas COGUANOR, los alimentos balanceados en presentación peletizada debe tener un contenido máximo de 12,50 % para pollo, cerdos y vaca lechera de acuerdo con las normas NGO 87 170-172. Esto depende de la humedad que la materia tenga durante su proceso y poder generar una estabilidad de los parámetros de medición en cada fase de la producción, esto depende de los procesos y de la ingeniería de control, tanto del campo de control automático y los retos que conlleva la automatización de procesos con distintas matrices de formulación.

En 2014 Diego F. Tirado, Piedad M. Montero y Diofanor Acevedo realizaron el *Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias*, en el Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, Colombia, en el que se realizaron comparaciones de humedades determinadas por analizador de humedad de halógenos o termobalanza y estufa, en el que se pudo comprobar que el peso de la muestra es un factor influyente en la determinación de humedad, además de que el método por el analizador de humedad de halógenos, optimiza el tiempo, gastos energéticos, talento humano y además presenta resultados muy fiables. En el estudio se pudo establecer que para todos los productos analizados no hay diferencias significativas en la determinación del porcentaje de humedad entre los dos métodos para distintas matrices de alimentarias.

Estos estudios forman una base para el uso los métodos de determinación de humedad durante el estudio, demostrando que el método por analizador de halógenos es utilizado para procesos que requieren ser evaluados de forma inmediata o durante el proceso por la optimización de tiempo y la necesidad de una muestra muy pequeña de evaluación, esto ya que la luz halógena ha demostrado ser un método no invasivo, más rápido que los métodos convencionales y muy preciso, al igual que el uso del determinador de humedad por capacitancia eléctrica.

Por otra parte, son muy escasos los análisis generales de procesos de producción de alimentos balanceados y la variación de humedad en los mismos, así como las normas empleadas para su control, por lo que se han usado como base, estudios realizados en todo tipo de alimentos.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Alimentos balanceados

“Los alimentos balanceados, más conocidos como alimentos concentrados, son aquellos de origen animal y vegetal que pueden contener frutos, granos, subproductos de procesamiento de grano o de alimentos basados en harinas de algunos animales como la harina de pescado. Estos alimentos son formulados para la mejor digestibilidad y nutrición de diferentes especies animales.”<sup>2</sup>

“Los alimentos balanceados representan un método más eficiente de alimentación en el área agropecuaria además del aprovechamiento de subproductos del procesamiento agrícola. Para la alimentación animal pueden, emplearse residuos de alimentos destinados a consumo humano, siguiendo algunas consideraciones para evitar enfermedades o daños a los consumidores.”<sup>3</sup>

Para la producción de alimentos balanceados se requiere de dos componentes, la micro mezcla y la macro mezcla. Se denomina micro mezcla a la mezcla básica obtenida de la adición de vitaminas, medicinas, y colorantes, y macro mezcla a la mezcla de productos de agricultura y agroindustria divididos en fuentes de energía y proteínas.

Después de la mezcla final y peletizado se hace necesario realizar pruebas de calidad para empacarse como producto terminado.

---

<sup>2</sup> BAZÁN, Carlos. *Fundamento de los alimentos peletizados en la nutrición animal*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=580287>.

<sup>3</sup> ZINN. *Guía para el mezclado de ingredientes*. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/62-guia\\_mezclado\\_ingredientes.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/62-guia_mezclado_ingredientes.pdf). Consulta 04 de junio de 2019. p. 1-3.

### **2.1.1. Control de calidad de los alimentos balanceados**

“Al igual que en el procesamiento y producción de alimentos para consumo humano, los estándares de calidad en los alimentos balanceados deben cumplir y satisfacer ciertos requerimientos nutricionales de acuerdo de la especie animal, de acuerdo con su ciclo productivo, y además garantizar la inocuidad y calidad del proceso asegurando no ser portador de bacterias, hongos, toxinas o virus que podrían causar daños fatales a sus consumidores<sup>4</sup>. La calidad de un alimento balanceado mide la correcta aplicación de cada una de las operaciones en el proceso global de producción, desde la recepción de materia prima hasta el almacenaje del producto final por medio de revisiones físicas y análisis, microbiológicos, microscópicos y químicos.”<sup>5</sup>

## **2.2. Materia prima**

Se conoce como materia prima a la materia extraída de la naturaleza y que se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo. En estudio se refiere a los diferentes elementos que luego de distintas etapas se convertirá en un alimento balanceado para animales.

A continuación, se describen las materias primas que son objeto del estudio.

---

<sup>4</sup> FAO Producción y Sanidad Animal. *Peligros para la salud relacionados con los piensos. Buenas prácticas para la industria de piensos*. <http://www.fao.org/3/i1379s/i1379s.pdf>.

<sup>5</sup> TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos*. p. 101-112.

Tabla I. **Descripción de la materia prima**

Materia prima	Descripción
Maíz	El maíz ( <i>Zea mays</i> ) es una de las pocas especies cultivables nativas de América, y ocupa el tercer puesto en la producción a granel. Su principal destino es en plantas de producción de alimentos balanceados y cerveza. Se estima que cerca del 40 % del maíz producido en los países tropicales usado en la alimentación animal, esto ya que proporciona la más alta conversión a carne, leche y huevos que otros granos usados con el mismo propósito.
Soya	La semilla de soya se compone de lípidos, hidratos de carbono, proteínas y minerales. La soya se considera como una fuente de proteína de excelencia para la alimentación de cerdos y aves en crecimiento y finalización, ya que tiene una alta digestibilidad, balance de aminoácidos, calidad consistente y bajos costos para su contenido proteico. La soya al igual que el maíz posee la ventaja de poder hidratarse después de su periodo de almacenaje permitiendo una estabilización al porcentaje de humedad deseado sin perder su calidad inicial.
Palmiste	El palmiste, coquito o almendra de palma africana, es un subproducto de la palma africana, y constituye un bajo porcentaje del peso total del racimo. El alto contenido graso del palmiste permite alcanzar mayores rendimientos en líneas modernas de pollo de engorde y de postura. Se ha comprobado que el palmiste integral es una excelente alternativa como fuente de energía en pollo de engorde. El coquito de palma africana posee una alta concentración de fibra cruda por lo que su utilización se orienta a la alimentación de rumiantes, principalmente vacas secas y animales de engorde.
Sub producto de trigo	Muchos sub-productos o residuos de la elaboración de cereales y oleaginosas, se obtiene un rendimiento de 72 % de harina y 28 % de subproductos, estos subproductos contienen la mayor cantidad de nutrimentos presentes en el grano de trigo y son más nutritivos que la harina para consumo humano. Al extraer los elementos deseados y más utilizados del trigo se obtienen los subproductos de trigo que contienen diferentes porcentajes de elementos nutricionales del trigo.
Salvado de trigo	El salvado de trigo está constituido por las partículas de mayor tamaño, obtenidas del procesamiento del trigo y contiene hasta 18 % en peso de proteínas Este es destinado principalmente al consumo animal ya que las proteínas contenidas no son digeridas por el sistema gastrointestinal humano. El salvado de trigo es una buena opción como sustituto de maíz en los alimentos balanceados para animales debido a sus altos contenidos de extracto etéreo y fibra digestible, que contienen una alta concentración energética.

Continuación de la tabla I.

Destilado de Maíz	Los granos secos de destilería con solubles a partir de maíz, por sus siglas en inglés DDGS, es un coproducto de la producción de etanol con molienda seca a partir de los granos. Se utiliza como materia prima para la producción de alimentos balanceados para animales ya que, en la producción de alcohol se fermenta el almidón, pero el endospermo y el germen del maíz conservan un alto valor nutritivo.
-------------------	---

Fuente: elaboración propia.

### **2.2.1. Almacenamiento de materia prima**

El almacenamiento de la materia prima inicia con la elección de la estructura de la instalación de almacenamiento y varía respecto a la región, el tipo de materia prima, la cantidad de materia prima que debe conservarse, duración de la materia en almacenamiento, recursos monetarios y limpieza en la instalación.

La buena conservación de los granos se basa en las condiciones prevalecientes durante el almacenamiento, características físicas, químicas y el tipo y características funcionales del sitio de almacenamiento. Influyen factores de origen biótico, que comprenden a los organismos vivos que utilizarán el grano como fuente de nutrición para su crecimiento en condiciones favorables, generando mermas no sólo en cuestión de calidad, sino por el consumo de estos organismos.

“Los factores bióticos comprenden la humedad relativa, temperatura y tiempo transcurrido en el almacenaje”<sup>6</sup>. “Por ello es necesario realizar análisis

---

<sup>6</sup> FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. <http://www.fao.org/3/t0800s/t0800s.pdf>.

físicos y microbiológicos que reflejen la condición de las materias primas hasta el momento en el que se utilicen”<sup>7</sup>.

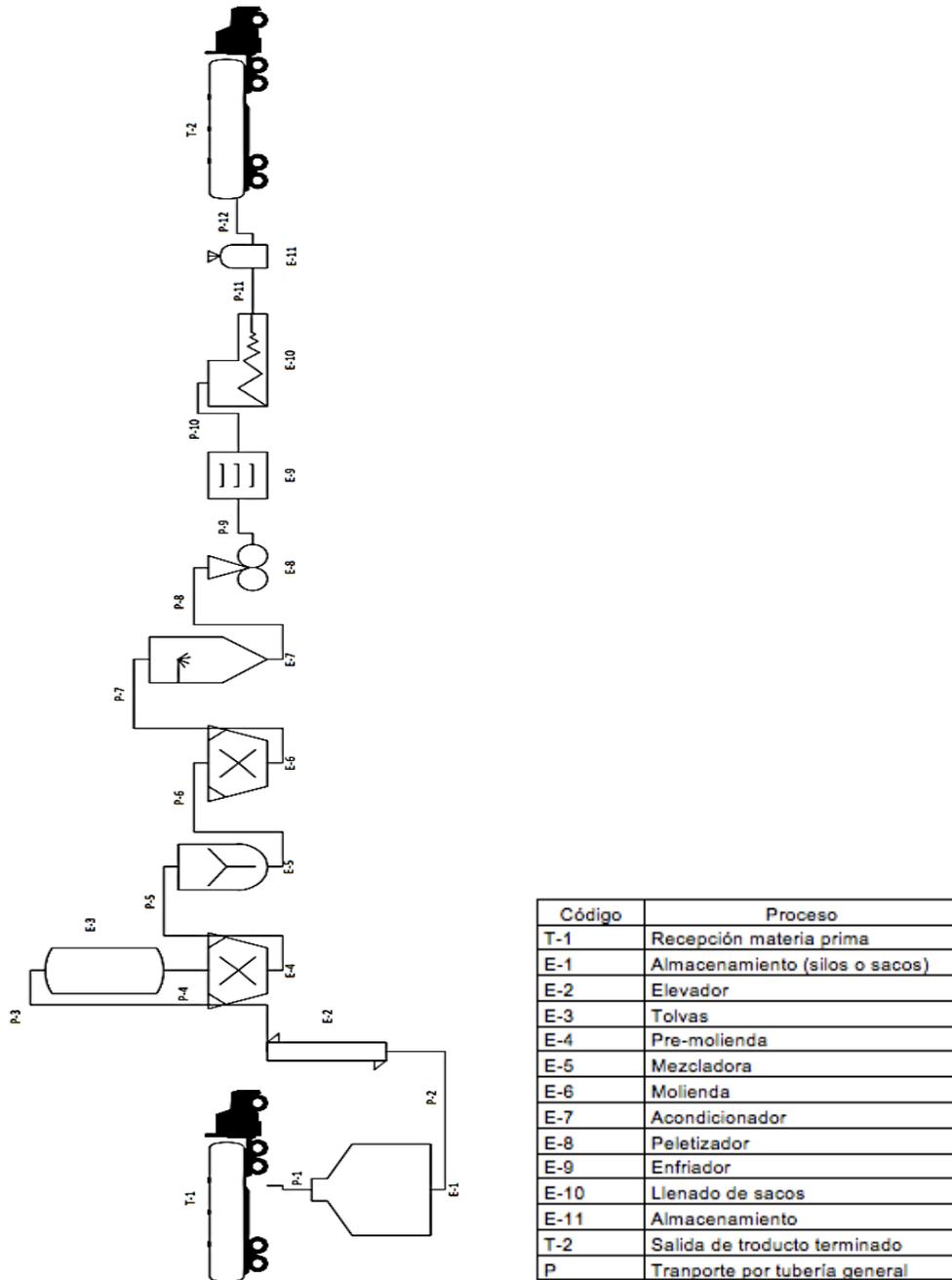
### **2.3. Proceso de producción de alimentos balanceados para animales**

A continuación, se observa el esquema general de la línea de producción de alimentos balanceados para animales.

---

<sup>7</sup> TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos*. [https://www.researchgate.net/publication/317150568\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Influencia\\_en\\_la\\_Calidad\\_de\\_Alimento\\_para\\_Pollo\\_de\\_Engorde\\_Utilizando\\_Acondicionamiento\\_con\\_Aplicacion\\_de\\_Vapor\\_en\\_Varios\\_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf](https://www.researchgate.net/publication/317150568_Evaluacion_de_la_Influencia_en_la_Calidad_de_Alimento_para_Pollo_de_Engorde_Utilizando_Acondicionamiento_con_Aplicacion_de_Vapor_en_Varios_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf).

Figura 1. **Línea general de producción de alimentos balanceados para animales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

### **2.3.1. Molienda seca**

La molienda seca es el proceso en el cual se separan distintas partes de los granos de maíz. Contiene un germen de donde nace una nueva planta y un endospermo que proporciona alimentos nutritivos a la semilla hasta que germine. También, con un proceso de fabricación previa se logran las sémolas y harinas<sup>8</sup>. El objetivo de esta molienda es reducir el tamaño de partícula del maíz para determinados productos terminados.

### **2.3.2. Mezcla**

Es una de las operaciones unitarias más importantes y utilizadas en el procesamiento de alimentos, en la que se distribuyen uniformemente los componentes por medios mecánicos para un producto final. Esta operación tiene un efecto importante en las propiedades químicas y físicas o sensoriales de los alimentos.

Durante el mezclado se cumplen con legislaciones de concentración de sus componentes, además de generar estabilidad física en el producto final debido al grado de uniformidad en la mezcla de ingredientes de diversas naturalezas y con diferentes contenidos de humedad que afectarán la homogeneidad en el producto.

---

<sup>8</sup> HAROS, Claudia Mónica. *Molienda húmeda de Maíz: Optimización del proceso y desarrollo de nuevas técnicas tendientes a mejorar la calidad de sus productos*. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_3217\\_Haros.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3217_Haros.pdf).

### **2.3.3. Post Molienda**

Después del mezclado de la materia prima se realiza la post molienda, esta operación asegura la homogenización de todas las materias primas y permite a selección del tamaño de la materia para la producción de aglomerados, lo que contribuye a la elaboración de un pellet de mejor calidad y una mayor eficiencia en el proceso de peletizado. La post-molienda se realiza normalmente se realiza en molinos de martillo y dependiendo de la granulometría que proporcione, puede aumentarse el grado de nutrición zootécnico.<sup>9</sup>

### **2.3.4. Acondicionamiento**

Después de la post molienda de la fórmula se obtiene una harina, misma que debe acondicionarse propiamente con vapor para que, al proceder al peletizado se formen pellets con suficiente dureza. El acondicionamiento en alimentos balanceados es un proceso en el que se aplica humedad y calor por medio de vapor a la mezcla formulada en un periodo de tiempo, también se aplica vapor seco para aumentar la eficiencia de la transferencia de calor necesaria en el acondicionamiento.<sup>10</sup>

En el proceso de acondicionamiento se aconseja que introduzca humedad hasta alcanzar un valor que mejore el aglutinamiento de los ingredientes en el pellet, encontrándose rangos de entrada al acondicionador de 11 % y 12 % y brindar y un rango de entre 15 % y 17 % de humedad en la salida del acondicionador, proporcionando una buena estabilidad después de enfriado en el almacenamiento.

---

<sup>9</sup> TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos.* [https://www.researchgate.net/publication/317150568\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Influencia\\_en\\_la\\_Calidad\\_de\\_Alimento\\_para\\_Pollo\\_de\\_Engorde\\_Utilizando\\_Acondicionamiento\\_con\\_Aplicacion\\_de\\_Vapor\\_en\\_Varios\\_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf](https://www.researchgate.net/publication/317150568_Evaluacion_de_la_Influencia_en_la_Calidad_de_Alimento_para_Pollo_de_Engorde_Utilizando_Acondicionamiento_con_Aplicacion_de_Vapor_en_Varios_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf).

<sup>10</sup> *Ibíd.*

### **2.3.5. Peletizado**

“Una vez se obtiene la mezcla molida como harina y cumple con la formulación diseñada, la harina acondicionada con vapor genera una masa caliente pasa a través de rodillos que presionan la mezcla contra un dado, para formar pequeñas estructuras cilíndricas con diámetro establecido, pasando luego por cuchillas que cortan el pellet longitud especificada”<sup>11</sup>, a estos alimentos aglomerados se les denomina pellet y ofrecen un menor desperdicio del alimento en la planta al igual que la reducción de la alimentación selectiva en los animales y por tanto un mejor rendimiento del animal.

“El peletizado puede afectarse por las características físicas y químicas de los ingredientes, las propiedades químicas se caracterizan por el contenido de los nutrientes (fibra, almidón, grasa y cenizas) y las físicas por la estructura, distribución de las partículas, textura, densidad aparente, humedad y las fuerzas de adhesión”<sup>12</sup>.

### **2.3.6. Enfriado**

“Es la última fase de la línea de producción previa al empaque, es en la que se obtiene la dureza final del producto, el enfriado está influenciado por los mecanismos de ligamento, de los cuales son responsables principalmente los puentes de hidrógeno y la capilaridad. En este punto se hace pasar aire a través de una cama de pellets hasta alcanzar la temperatura, humedad y dureza esperada.”<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> GONZALO, Andino; MATA, Rene; MEJILLÓN, Katherine; ZUÑIGA, Erick. *Proceso de peletización*. <http://www.buenstareas.com/ensayos/ProcesoDePeletizacion/2214536.html>.

<sup>12</sup> FLORES GARCÍA. *Efecto de la peletización y de la extrusión sobre la estabilidad de las vitaminas*. Departamento de Nutrición Animal, p. 8.

<sup>13</sup> TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/29651>.

“En el procesamiento de alimentos balanceados para animales de crianza se establece temperatura no mayor de 5 °C por encima de la temperatura ambiente”<sup>14</sup>, y secando los productos hasta obtener una humedad de 12,5 %, de acuerdo con las normas COGUANOR NGO 34 170, 171 y 172.

### **2.3.7. Empaque**

Después del enfriado el producto final que se almacenará debe empacarse y mantener el porcentaje de humedad obtenido en el enfriado para asegurar la calidad óptima en el mismo, si el producto es empacado a una temperatura muy alta se generará una condensación dentro del empaque lo que propiciará la formación y crecimiento de microorganismo indeseados. Durante el empaque se debe asegurar que el producto sea sellado de forma adecuada para impedir la pérdida de humedad al medio ambiente o el ingreso de humedad por factores como la temperatura externa, lluvias o derrames de líquidos.

### **2.3.8. Almacenamiento**

Tanto la materia prima que ingresa a una planta, como el producto terminado pasan por un proceso de almacenamiento en el que se debe cumplir con estándares de calidad definidos en las etiquetas de los productos, entre los cuales se establece el máximo contenido de humedad y grasas respecto a las condiciones en las que el producto será almacenado. El almacenamiento debe marcarse con áreas específicas y en caso de deterioro de los empaques, para reempaque o eliminación según proceda.

---

<sup>14</sup> TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos.* <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/29651>.

“Los productos que contengan ingredientes de riesgo y los destinados a investigación, deben almacenarse separados de otros alimentos y en áreas identificadas, con un manejo de inventarios precisos, y con espacio adecuado para facilitar la manipulación de los alimentos, inspección y limpieza”<sup>15</sup>.

## **2.4. Merma**

Es la pérdida física de materiales durante el proceso productivo, originado por reacciones físicas o químicas realizadas en la elaboración de un producto. A diferencia de las fugas, derrames o desperdicios, la merma es material del que se desconoce su paradero, por lo que es necesario realizar un análisis para determinar en qué parte del proceso se pierde, y puede ser debido a diferentes factores en el proceso de producción.

### **2.4.1. Merma normal**

Las mermas normales son producidas por factores que son incontrolables durante el proceso de producción, como factores climáticos, cambios de temperatura o situaciones que se derivan del proceso productivo en condiciones óptimas del equipo, por lo que deben tomarse como costo de producción.

### **2.4.2. Merma anormal**

Estas se producen por la negligencia en las operaciones de producción o como causa de defectos en la maquinaria, y en general como efecto de deficiencias en el proceso productivo que pueden detectarse y corregirse.

---

<sup>15</sup> FAO Producción y Sanidad Animal. *Peligros para la salud relacionados con los piensos. Buenas prácticas para la industria de piensos*. <http://www.fao.org/3/i1379s/i1379s.pdf>.

### **2.4.3. Factores que contribuyen a la merma**

Durante los procesos de producción existen diferentes factores que contribuyen a la merma, estos pueden clasificarse en: factores humanos, ambientales y técnicos o de equipo. Cada uno de estos tipos de factores deben analizarse detalladamente para obtener mejoras en la productividad y minimización de merma.

- Factores humanos

Dentro del proceso productivo se incluyen los errores humanos que interfieren en la generación de merma, a continuación, se enlistan los de mayor importancia en la industria de alimentos balanceados:

- Sacos rotos
- Errores de conteo
- Repetición de molienda
- Mezclas de diferentes embarques en silos
- Mala limpieza de material
- Remezcla por error en mezclados
- Extracción de materia prima o producto final
- Errores de inventario
- Mal llenado de sacos de producto terminado
- Entorpecimiento del trabajo por limpieza o errores
- Revisión de control de inventarios y producto obsoleto

- Factores ambientales

Existen factores que contribuyen a la merma que están directamente afectados por la región en la que se encuentra la planta de producción y son difíciles de controlar ya que dependen del aislamiento con el entorno.

- Pérdidas de humedad en el almacenamiento
- Producto arrastrado
- Daño causado por polvo, lluvia, insectos, roedores y aves

- Equipo

Cada operación en el proceso de producción depende de distintos equipos a los que debe realizarse chequeos y mantenimientos cada cierto periodo de tiempo, así podrán evitarse la pérdida de lotes de producto con errores debido al mal funcionamiento de los equipos, por ejemplo:

- Errores de peso en sacos
- Derrames en la descarga de materia prima
- Malas prácticas de envío
- Precisión en alimentadores

## **2.5. Humedad en alimentos**

Los alimentos, independientemente de los procesos a los que sean sometidos, contienen agua en distintas proporciones. En los tejidos vegetales el agua se presenta en dos formas; Agua libre o absorbida, que es la que se encuentra en mayor proporción eliminándose de forma fácil durante el secado, ya que el mecanismo que promueve la migración de agua es la capilaridad, este mecanismo fisicoquímico no está ligado ni a la transferencia de calor ni a la de masa; y el agua

ligada que puede encontrarse combinada o absorbida,<sup>16</sup> esta pasa por un proceso más complejo para eliminarse de la muestra ya que se encuentra adherida a la misma.

El contenido de humedad es de gran importancia en la industria alimenticia, ya que a través de él se puede conocer la proporción de nutrientes en los alimentos, así como el cumplimiento con las normativas de calidad propias de cada tipo de alimento asignadas respecto a su manejo y almacenamiento. En los procesos de producción de alimentos es necesario llevar a cabo determinaciones de humedad ya que este se utilizará para establecer la adulteración durante el procesamiento, de acuerdo a las normas COGUANOR de procesamiento de alimentos, en la República de Guatemala, dependiendo del alimento, la diferencia de porcentaje de humedad del mismo deberá ser igual a cero para garantizar un alimento de calidad y sin adulteración debida a una sobre inyección de líquidos.

El contenido de humedad permite determinar las condiciones de almacenaje del producto, sobre todo en los granos, ya que estos no pueden almacenarse con humedades mayores a 14 %, debido a la formación de hongos y crecimiento de microorganismos.

### **2.5.1. Contenido en base húmeda**

En la industria alimenticia se hace uso del cálculo de contenido de humedad en base húmeda por dos razones esenciales; la primera es el interés en la preservación del producto final, pues cada alimento posee un límite de humedad en el que el producto pueda ser más susceptible a rápida descomposición, la segunda es la facilidad de cálculo, ya que se hace necesario el peso inicial de

---

<sup>16</sup> HART, Leslie; JOHNSTONE FISHER, JUSTINO BURGOS GONZÁLEZ, Harry. *Análisis moderno de los alimentos*. [https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es\\_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD\\_ILS\\$002f0\\$002fSD\\_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true](https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true).

trabajo de la muestra y el peso final de secado, sin utilizarse el peso seco de la muestra que es inicialmente desconocido.

“Se puede obtener el contenido de humedad en base húmeda porcentual por medio de la siguiente expresión”<sup>17</sup>:

$$\%X_{bh} = \frac{W_o - W_f}{W_o} * 100$$

En esta ecuación se expresa el porcentaje de humedad en base húmeda como  $\%X_{bh}$ , el peso inicial de la muestra como  $W_o$  en kilogramos y el peso final de la muestra como  $W_f$  igualmente en kilogramos. Por medio de esta ecuación pueden realizarse proyecciones de peso perdido en lotes de producto o materia prima.

## 2.5.2. Métodos de determinación de humedad

“Los métodos de determinación de humedad dependen de diversos factores como la naturaleza de la muestra, rapidez del método y exactitud deseada. Los métodos de secado son los más comunes para valorar el contenido de humedad en los alimentos; en ellos se calcula el porcentaje de agua en la muestra en base a la pérdida de peso debida a la eliminación de agua durante calentamiento bajo condiciones controladas.”<sup>18</sup>

Debe tomarse en cuenta que dependiendo de método de determinación de humedad pueden perderse otras materias volátiles distintas al agua y propiciar la descomposición de la muestra o no eliminarse por completo la humedad presente en la muestra.

---

<sup>17</sup> DE LEÓN, Otto. *Guía Secado y Secadores*. <https://es.scribd.com/document/402528343/Guia-de-Secado-IQ-5>.

<sup>18</sup> NOLLET, Leo; TOLDRA, Fidel. *Handbook of food analysis*. [https://www.academia.edu/35072800/Leo\\_M\\_L\\_Nollet\\_Handbook\\_of\\_food\\_analysis](https://www.academia.edu/35072800/Leo_M_L_Nollet_Handbook_of_food_analysis).

Los métodos de determinación de humedad por secado son:

### 2.5.2.1. Método de secado por estufa

Este método utiliza la pérdida de peso de la muestra por evaporación de agua como base de cálculo de la humedad inicial contenida en la muestra. Para la eliminación de agua de una muestra se requiere que la presión parcial del agua en fase vapor sea inferior a la que alcanza en la muestra de preferencia a una temperatura de 60 °C<sup>19</sup>; por lo que es necesario abrir parcialmente la ventilación en la estufa para generar cierto movimiento en el aire.

Este método realiza de forma individual los procesos de separación de muestra, pesado, secado, enfriado y pesado final de la muestra, por lo que tanto la apertura de la estufa como su pesado en cápsula deben ser tan rápidos como alcance la temperatura ambiente para evitar cálculos incorrectos en productos higroscópicos después de su deshidratación.<sup>20</sup>

Para utilizar este método se debe de tomar en cuenta que no es apto para especies ricas en sustancias volátiles distintas al agua. Y los productos con elevado contenido de azúcares o carnes con altos contenidos de grasa deben deshidratarse en estufas de vacío a temperaturas menores a los 70 °C.

---

<sup>19</sup> HART, Leslie; JOHNSTONE FISHER, JUSTINO BURGOS GONZÁLEZ, Harry. *Análisis moderno de los alimentos*. [https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es\\_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD\\_ILS\\$002f0\\$002fSD\\_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true](https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true).

<sup>20</sup> NOLLET, Leo; TOLDRA, Fidel. *Handbook of food analysis*. [https://www.academia.edu/35072800/Leo\\_M\\_L\\_Nollet\\_Handbook\\_of\\_food\\_analysis](https://www.academia.edu/35072800/Leo_M_L_Nollet_Handbook_of_food_analysis).

Figura 2. **Estufa de secado**



Fuente: Equipos y Laboratorio. *Estufa de secado*.

[https://www.equposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=10092](https://www.equposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=10092). Consulta: 21 de marzo de 2020.

### **2.5.2.2. Método por secado en estufa al vacío**

Relaciona la presión de vapor con la presión del sistema a una presión dada basándose en principios fisicoquímicos. Se manipula la presión del sistema, modificando así el punto de ebullición de la muestra. Al extraerse aire por medio de vacío se incrementa la velocidad de secado respecto a la velocidad en el método por secado en estufa convencional.

“En el caso de los compuestos volátiles en la muestra debe tomarse en cuenta el uso se una presión no mayor a los 100 mm Hg. Y 70 °C”<sup>21</sup>, para evitar

<sup>21</sup> NOLLET, Leo; TOLDRA, Fidel. *Handbook of food analysis*. [https://www.academia.edu/35072800/Leo\\_M\\_L\\_Nollet\\_Handbook\\_of\\_food\\_analysis](https://www.academia.edu/35072800/Leo_M_L_Nollet_Handbook_of_food_analysis).

la descomposición de la muestra y la eliminación por evaporación de compuestos volátiles debido a su nueva temperatura de ebullición.

Figura 3. **Estufa de secado al vacío**



Fuente: RAYPA. *Estufa de secado al vacío*. <https://www.raypa.com/es/prod/estufa-de-secado-al-vacio-ev-50/>. Consulta: 21 de marzo de 2020.

### **2.5.2.3. Método de secado halógeno (termobalanza)**

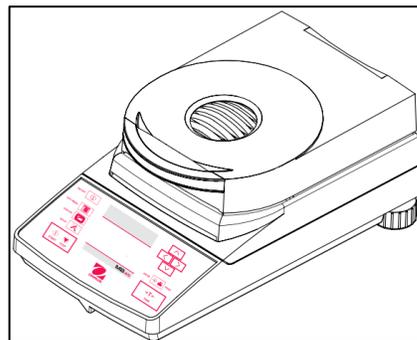
Este método elimina el agua de la muestra por evaporación continua, manteniendo un control continuo de peso de la muestra y deteniendo el calentamiento cuando el peso de la muestra sea constante en un periodo de tiempo. Para ofrecer el porcentaje de contenido de humedad, el porcentaje final de sólido en la muestra y el porcentaje de tolerancia de humedad de la muestra.

Para mejorar los resultados en este método debe evitarse la exposición constante de la muestra al ambiente. Además, se deben realizar las tomas y

preparaciones de muestra de acuerdo con la marca y modelo de la termobalanza que va a emplearse en el análisis de porcentaje de humedad.

Sus mayores ventajas son la semiautomatización del método, al no removerse la muestra, el error de pesada es mínimo, la muestra necesaria para el análisis es mínima, lo que hace que sea excelente para investigación.

Figura 4. **Secador halógeno (Termobalanza)**



Fuente: OHAUS. *Instruction Manual MB45 Moisture Analyzer*.

<https://www.ricelake.com/Portals/0/Resources/425212e7e49141c182a2c99ac9ca69f8-orig.pdf>.

Consulta: 21 de marzo de 2020.

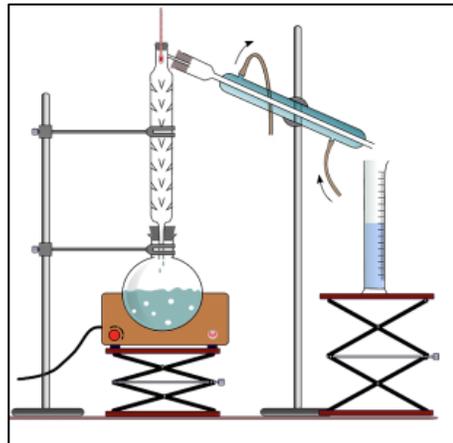
#### **2.5.2.4. Método de destilación azeotrópica**

Este método utiliza la destilación simultánea de agua con otro líquido en proporciones constantes, a diferencia de los métodos anteriores, este método se basa en la recolección del volumen de agua destilada y condensada de la muestra para obtener en porcentaje de humedad inicial en la muestra. Los disolventes recomendados para este proceso son los siguientes: tetracloruro de carbono, benceno, metil ciclohexano, tolueno, tetracloroetileno y xileno.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> VILLEGAS, William. *Propuesta de una metodología para la determinación del porcentaje de humedad del clavo de olor (eugenia caryophyllata thunb) por medio de destilación azeotrópica, variando tamaño de partícula y disolvente en una empresa comercializadora de especias*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1403\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1403_Q.pdf).

Figura 5. **Destilación azeotrópica**



Fuente: OHAUS. *Clasificación de Tipos de destilación*. <https://www.clasificacionde.org/tipos-de-destilacion/>. Consultado: 21 de marzo de 2020.

### 2.5.2.5. **Método de Karl Fischer**

Es el método químicamente usado para la determinación de porcentaje de humedad en muestras. Se basa de la mezcla de un reactivo que consta de yodo, dióxido de azufre y una amina (no específica) en un alcohol.

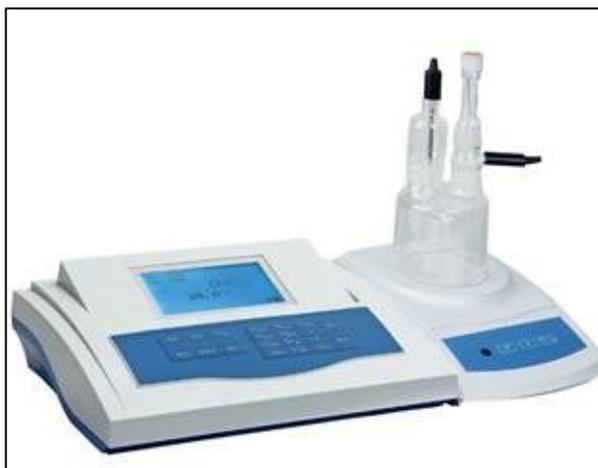
“Esta mezcla permite que el dióxido de carbono para formar un éster que se neutraliza con la base, el éster es oxidado por el yodo a metil sulfato en una reacción que involucra agua”<sup>23</sup>. Se hace una determinación de porcentaje de humedad por titulación visual o potenciométrica, en su forma más simple el reactivo funciona como indicador. Ya que el yodo es un poderoso deshidratante la muestra y el reactivo deben aislarse de la humedad del aire.

<sup>23</sup> NOLLET, Leo; TOLDRA, Fidel. *Handbook of food analysis*. [https://www.academia.edu/35072800/Leo\\_M\\_L\\_Nollet\\_Handbook\\_of\\_food\\_analysis](https://www.academia.edu/35072800/Leo_M_L_Nollet_Handbook_of_food_analysis).

Es el método químicamente usado para la determinación de porcentaje de humedad en muestras y en que se requiere un reactivo que consta de yodo, dióxido de azufre y una amina (no específica) en un alcohol.

Esta mezcla permite que el dióxido de carbono para formar un éster que se neutraliza con la base, el éster es oxidado por el yodo a metil sulfato en una reacción que involucra agua

Figura 6. **Titulador de humedad por método de Karl Fischer**



Fuente: Zelian. *Titulador para determinación de humedad por método Karl-Fischer. Marca Numak Modelo KLS-411.* <https://www.zelian.com.ar/titulador-para-determinacion-de-humedad-por-metodo-karl-fischer-marca-numak-modelo-kls-411--det--EQL-00600>. Consultado: 21 de marzo de 2020.

#### **2.5.2.6. Método de capacitancia o conductividad eléctrica**

Este método se fundamenta en obtener la variación de la frecuencia de un oscilador en un sensor de humedad capacitivo, esto envía una señal a un convertidor de frecuencia a voltaje, traduciendo la variación de humedad en un cambio de voltaje. Esta técnica mide la

variación del parámetro eléctrico o magnético ante la sustancia humedad como material dieléctrico.<sup>24</sup>

Figura 7. **Determinador de humedad de capacitancia o conductividad eléctrica**



Fuente: Viaindustrial.com. *Determinador de humedad para granos Dickey John GAC 2500 INTL.*  
<https://www.viaindustrial.com/pp/Determinador-de-humedad-para-granos-Dickey-John-GAC-2500-INTL-GAC-2500-INTL-dickey-john-P190968>. Consultado: 21 de marzo de 2020.

---

<sup>24</sup> RODRIGUEZ-ARISMÉNDIZ, Rodolfo. *Estudio de la espectroscopia dieléctrica para la medición de humedad en productos alimenticios.*  
[https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC\\_ING\\_AUT\\_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC_ING_AUT_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación, se establecen las variables que tienen influencia en el análisis de humedad en la línea de proceso de producción de alimentos balanceados:

Tabla II. Variables de investigación

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA	DEFINICIÓN ESTADÍSTICA
Humedad (H)	Cantidad porcentual de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.	Número real porcentual. Medición por medio de termobalanza en base húmeda.	Variable cuantitativa dependiente del tiempo en el que se almacenen una materia prima y de la etapa del proceso en el que se encuentre el producto.
Tiempo (t)	Es una magnitud física con que se mide la duración o separación de acontecimientos.	Número real en horas.	Variable cuantitativa independiente que sirve como guía para la fluctuación de humedad en el proceso de almacenaje de materias primas
Merma	Disminución o reducción por causa desconocida de la cantidad de una cosa.	Número real en kg con una base de 1000 kg (1 Ton)	Variable cuantitativa dependiente.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

El estudio busca determinar la variación de humedades en la materia prima para la producción de alimentos balanceados para animales durante su almacenaje, por lo que se seleccionaron las materias primas que poseen un mayor índice de merma de acuerdo a informes realizados dentro de una planta de producción de alimentos balanceados para animales. Además del análisis de humedad en la línea de producción, en las etapas de mezcla, molienda, acondicionamiento, peletizado y enfriamiento de los cinco tipos de alimentos balanceados para animales de mayor producción y venta de esta planta de producción en la Ciudad de Guatemala.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Los individuos involucrados en la ejecución, elaboración, supervisión y revisión del estudio serán:

- Tesista       Heidy Marisol Ramírez Marroquín
- Asesor       Ing. Qco. Samuel Eduardo Pereda Godínez

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

La materia prima utilizada en el análisis de humedades en distintos alimentos balanceados es:

- Maíz en grano
- Palmiste
- Soya
- Salvado de trigo

- Granillo de trigo
- Destilado de maíz
- Alimento para cerdos en etapa de Desarrollo (peletizado)
- Alimento para cerdos en etapa de Finalización (peletizado)
- Alimento para pollo en etapa de Inicio (granulado)
- Alimento para pollo en etapa de Engorde (peletizado)
- Alimento para ganado Lechero (peletizado)

#### **3.4.1. Equipos auxiliares**

- Molino
- Medidor de humedad para granos GAC 2500 intl.
- Termobalanza (Ohaus MB 45)
- Tamiz Mesh No. 8
- Calador cilíndrico para sacos.

#### **3.5. Técnica cuantitativa**

Se utilizó un analizador de humedad con base en principios termogravimétricos para estimar el porcentaje de humedad de las muestras de maíz y alimentos balanceados en su línea de producción, para ellos se empleó una termobalanza y un medidor de humedad en granos por capacitancia.

La empresa en la que se realizó la investigación cuenta con un laboratorio químico que valida los datos obtenidos en por los métodos que se describen a continuación.

### 3.5.1. Muestras en granos

- Obtención de muestras

Ya que el maíz entero se encuentra en silos de muestreo de la parte baja del silo abriendo el *man hall*, en donde se acumula el maíz previo a molienda, en los silos que no poseen *man hall* se obtuvo la muestra de la bandeja de residuos previa a molienda. En el caso de la soya se realizó el muestreo de acuerdo con la norma COGUANOR NGO 34 087, obteniendo aproximadamente 100 gr de muestra de 10 sacos distintos, obteniendo una muestra general de 1 kg.

- Análisis de humedad.

Se realizó el siguiente proceso para muestras de materia prima en grano (maíz y soya):

- Tomar una muestra del silo.
- Seleccionar la materia a analizar en el medidor de humedad para granos por capacitancia (GAC 2500 intl).
- Agregar la muestra en la entrada del medidor hasta que indique que está lleno.
- Oprimir el botón de inicio en la pantalla para obtener el contenido de humedad en la muestra.
- Vaciar la descarga de la muestra.

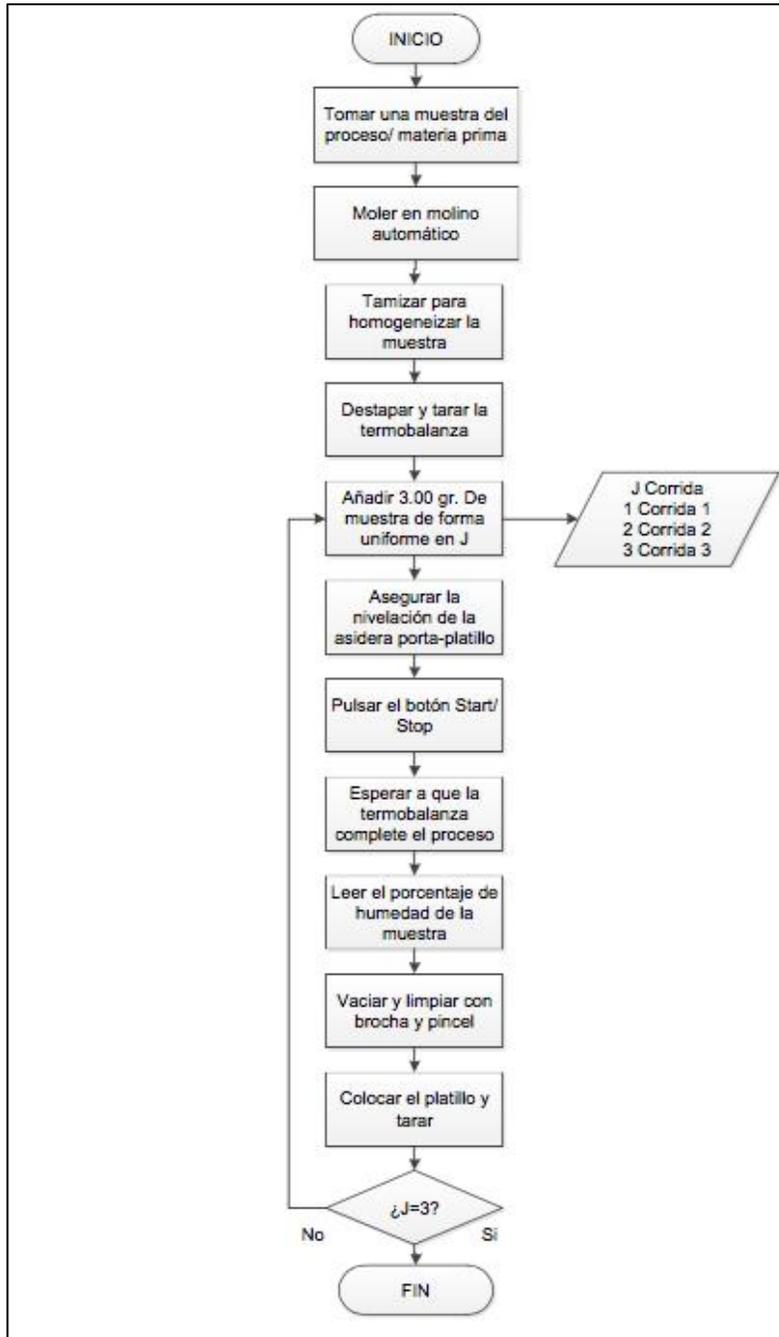
### 3.5.2. Muestra de materia prima molida o en proceso

- Obtención de las muestras

Se realizó el siguiente procedimiento para la determinación de humedad en la muestra después de molienda o en las que se requirió molienda:

- Tomar una muestra en el proceso de análisis o de los sacos de materia prima.
- Moler la muestra en el molino automático (Producto en proceso después de peletizado).
- Tamizar la muestra para homogeneizarla (Producto en proceso después de peletizado).
- Destapar y tarar la termobalanza.
- Añadir uniformemente una muestra de aproximadamente 3,00 g en el platillo para muestras sin sacarlo de la asidera porta-platillo.
- Colocar la muestra asegurando que el platillo este nivelado horizontalmente y bien colocado en la asidera para evitar un dato erróneo de humedad en la muestra.
- Pulsar el botón *Start/Stop* para iniciar el proceso de desecación y medición y esperar hasta que se muestre en la termobalanza un mensaje de proceso completado
- Leer el porcentaje de humedad en la muestra.
- Vaciar el platillo y limpiar con una brocha o pincel para eliminar los restos de la muestra.
- Colocar nuevamente el platillo y tarar para realizar una nueva toma.

Figura 8. **Proceso de determinación de humedad por medio de un secador halógeno (Termobalanza)**

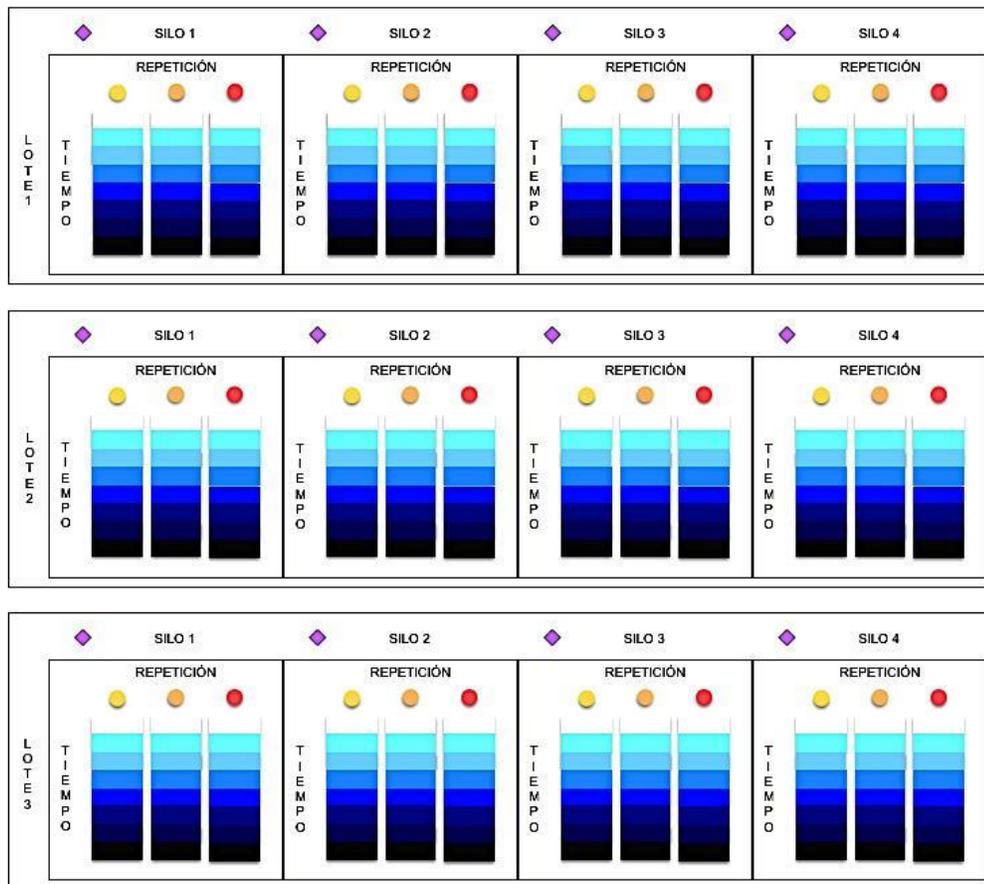


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

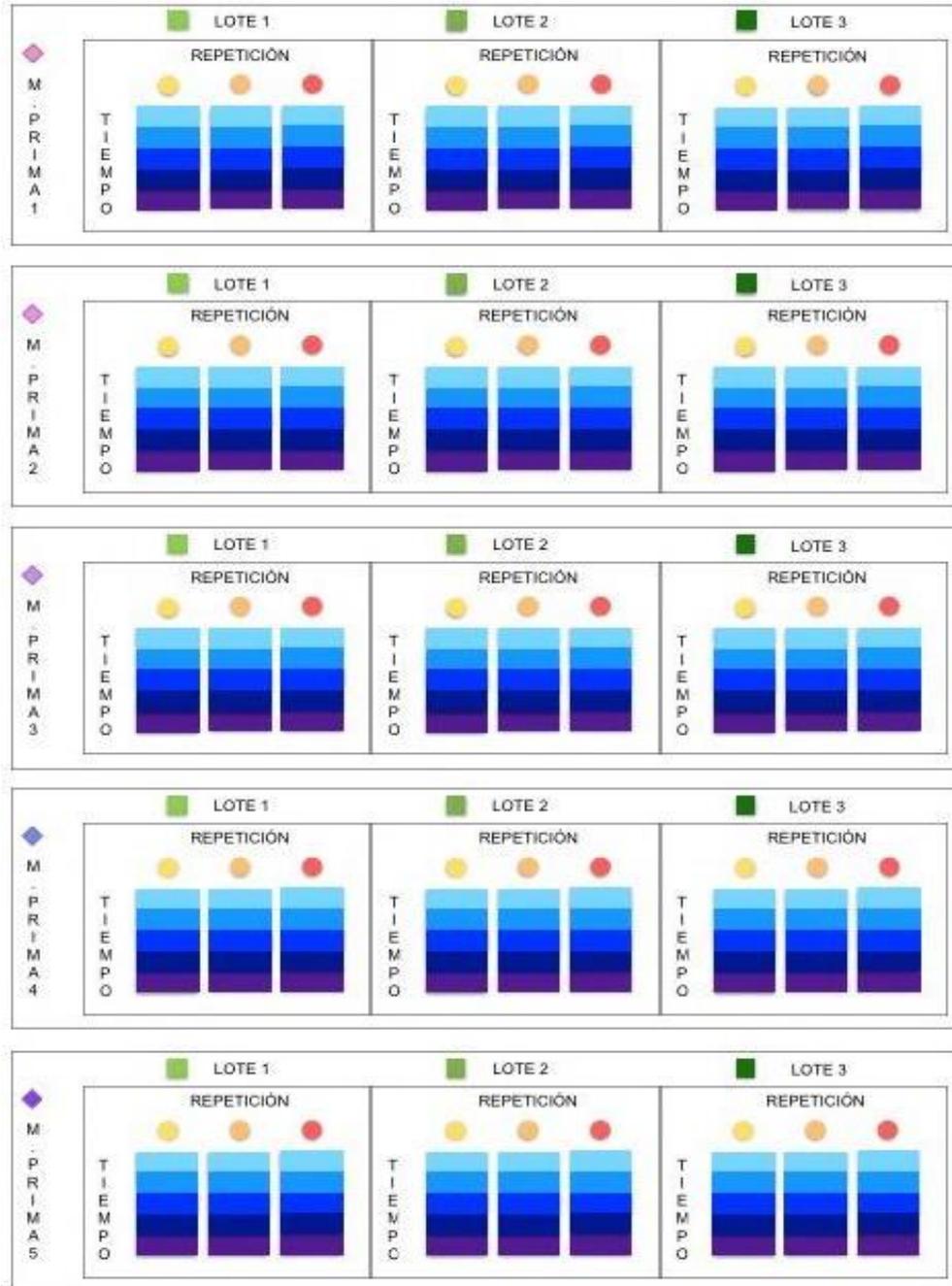
La recolección de la información y datos necesarios para el análisis de merma en el proceso de producción de alimentos balanceados para animales en una planta de producción, se llevaron a cabo mediante el procedimiento experimental planteado y a continuación se detalla el ordenamiento de los datos obtenidos durante la investigación:

Figura 9. Croquis de recolección de datos de humedad de maíz en grano almacenado en silos



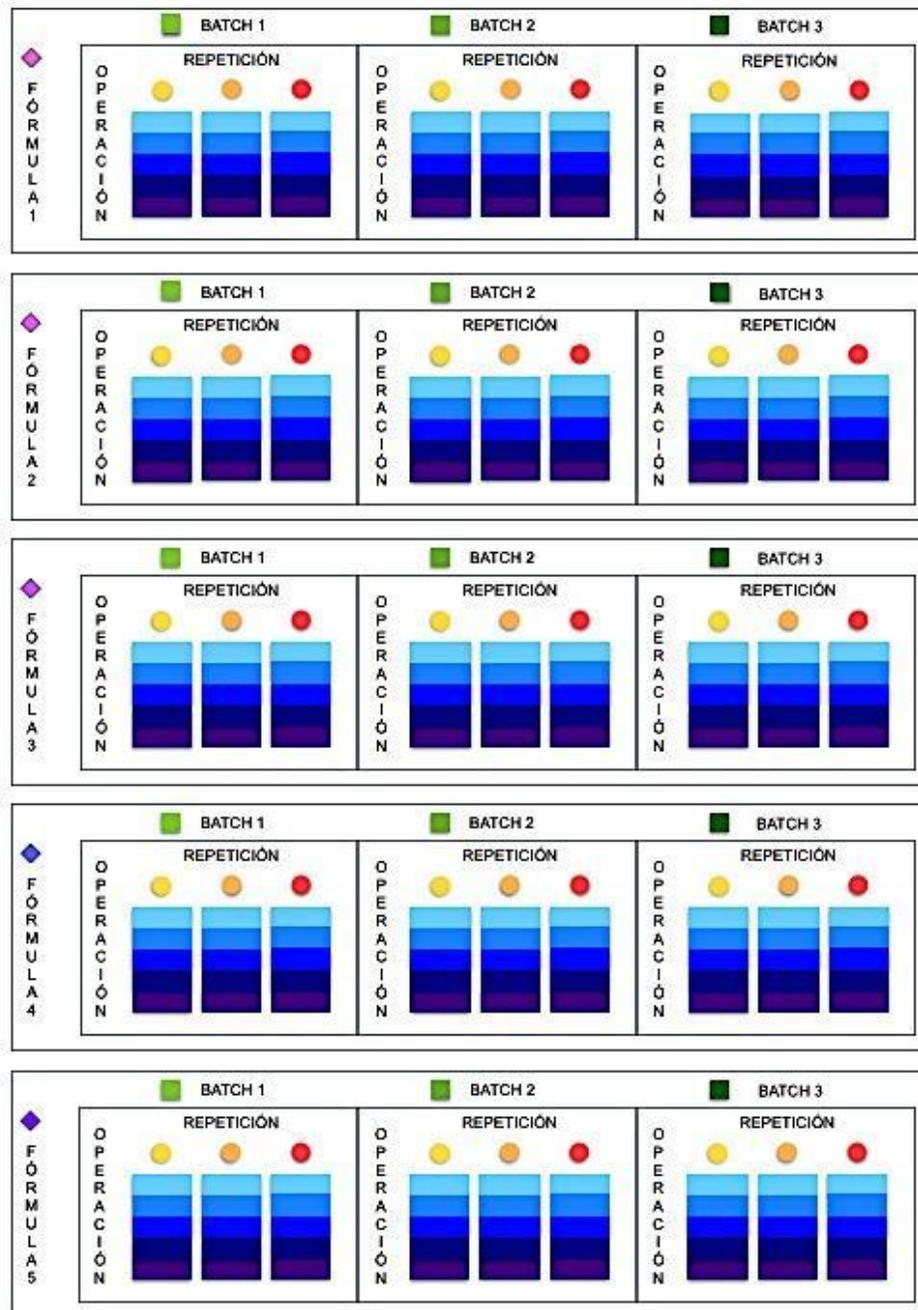
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 10. **Croquis de recolección de datos de humedad de materias primas almacenadas en sacos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 11. Croquis de recolección de datos de humedad de fórmulas en cada una de las operaciones de producción



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

A continuación, se detallan los datos de humedad base utilizados por la empresa de producción de alimentos balanceados para animales que teóricamente deben ajustarse con exactitud a los datos experimentales, ya que se formula de acuerdo a las cantidades de materia prima, su humedad y los procesos a los que son sometidos.

Tabla III. **Porcentaje de humedad optima en los procesos de producción de alimentos balanceados para animales**

<b>Alimento Balanceado</b>	<b>Humedad en procesos (%)</b>				
	<b>Mezcla</b>	<b>Molienda</b>	<b>Acondicionado</b>	<b>Peletizado</b>	<b>Enfriado</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	13,5	12,5	15,5	14,5	12,5
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	13,5	12,5	15,5	14,5	12,5
<b>Pollo en etapa de inicio</b>	12,5	--	15,5	14,5	12,5
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	13,5	12,5	15,5	14,5	12,5
<b>Ganado Lechero</b>	13,5	12,5	15,5	14,5	12,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Es importante tomar en cuenta que estos valores son supuestos para procesos ideales y se espera una variación respecto a los valores obtenidos durante el proceso de producción, además no indica que los procesos sean realizados de forma incorrecta o fuera de la legislación guatemalteca. Se realiza esta comparación a la idealización para corregir variaciones leves dentro del proceso que podrían impactar de forma positiva al proceso.

### **3.7. Procesamiento de la información**

Los datos obtenidos en la experimentación se analizaron con métodos estadísticos y matemáticos para realizar las gráficas del comportamiento de la merma respecto al almacenaje de las materias primas, su proyección en kilogramos de merma acumulada por tonelada, la comparación de la merma en el proceso de producción de las cinco fórmulas en cada operación unitaria de producción y su merma total en kilogramos de producto terminado por tonelada producida.

La recolección de datos fue realizada por medio de Microsoft Excel y su ilustración gráfica y análisis estadísticos por medio de Minitab 19, apoyándose en las herramientas estadísticas y de pruebas de hipótesis de esta aplicación.

### **3.8. Análisis estadístico**

El análisis estadístico de este estudio se realizó de acuerdo con las siguientes hipótesis planteadas:

#### **3.8.1. Hipótesis estadísticas**

- Hipótesis nulas

H<sub>1</sub>: No existe una variación significativa entre los valores de humedad porcentual en la recepción de materia prima y la humedad porcentual al paso del tiempo de almacenaje previo al proceso de producción de alimentos balanceados para animales.

H<sub>2</sub>: No existe una variación significativa entre la humedad de molienda y de producto terminado de cinco fórmulas diferentes de alimentos balanceados para animales.

H<sub>3</sub>: No existe una variación significativa entre los valores de humedad en la mezcla y molienda de ingredientes para producir cinco fórmulas diferentes de alimentos balanceados para animales

H<sub>4</sub>: No existe una variación significativa de merma en las cinco fórmulas de alimentos balanceados más producidas respecto a las operaciones unitarias de su proceso de producción.

- Hipótesis alternas
  - Ho<sub>1</sub>: existe una variación entre los valores de humedad porcentual en la recepción de materia prima y la humedad porcentual al paso del tiempo de almacenaje previo al proceso de producción de alimentos balanceados para animales.
  - Ho<sub>2</sub>: existe una variación significativa entre la humedad de molienda y de producto terminado de cinco fórmulas diferentes de alimentos balanceados para animales.
  - Ho<sub>3</sub>: existe una variación significativa entre los valores de humedad en la mezcla y molienda de ingredientes para producir cinco fórmulas diferentes de alimentos balanceados para animales.

- Ho<sub>4</sub>: existe una variación significativa de merma en las cinco fórmulas de alimentos balanceados más producidas respecto a las operaciones unitarias de su proceso de producción.

### **3.8.2. Pruebas estadísticas**

A continuación, se describe en el inciso 3.8.2.1. el análisis de la varianza.

#### **3.8.2.1. Análisis de varianza**

Un análisis de varianza (ANOVA) es una prueba de hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales, esto sirve para evaluar la importancia de uno o más factores al comparar medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Por lo que la hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales mientras que la hipótesis alterna establece que al menos una es diferente.

El análisis de varianza requiere datos de poblaciones que sigan la distribución aproximadamente normal, covarianzas iguales entre los niveles de factores, sin embargo, se puede realizar un ANOVA incluso cuando no se cumple con el supuesto de normalidad, a menos que una o más de las distribuciones sean muy asimétricas posean varianzas muy diferentes.

Este análisis se basa en el enfoque en el cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El procedimiento funciona comparando la varianza entre las medias de los grupos y la varianza como una forma de determinar si los grupos son todos parte de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes.

### **3.8.2.2. Comparaciones en parejas de Tukey**

El método de comparaciones de Tukey se utiliza en el análisis de varianzas de un factor (ANOVA) para generar intervalos de confianza para las diferencias entre las medias en parejas, por lo que es empleado para formar grupos de medias iguales dentro de un grupo de valores muestrales, y agrupar las medias iguales dentro de una muestra.

### **3.8.2.3. Prueba t de Student de dos muestras**

La prueba t para dos muestras relacionadas se utiliza para comparar dos series de datos observados, esto para dos series de medidas cuantitativas sobre las mismas unidades, utilizadas para casos de evaluaciones de datos de “antes - después”.

Por tanto, una de las propiedades más importantes de la prueba es que con muestras grandes, la prueba suele ser válida aun violando el supuesto de normalidad, por lo que es un procedimiento muy útil para analizar medias poblacionales, de caso contrario se recomienda el uso de pruebas no paramétricas.

### **3.8.2.4. Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu**

El método MCB de Hsu es un método para identificar los mejores niveles de los factores, esto es definir los valores significativamente diferentes del mejor, siendo el mejor la media más alta o más baja dependiendo de lo deseado.

Este método se utiliza generalmente después de un ANOVA (Análisis de varianza) para detectar con precisión las diferencias entre las medias de niveles.

El método crea un intervalo de confianza para la diferencia entre cada media de nivel y la mejor de las restantes medias de los niveles. Para este método, se especifica la tasa de error en un grupo relacionado de datos y la tasa de error individual se ajusta para alcanzarla, este método solo compara un subconjunto de todas las posibles comparaciones en pareja. El analista define el valor “mejor” como el valor más alto o bajo y compara con los demás valores produciendo intervalos de confianza. Es importante tomar en cuenta que cuando el nivel probado es significativamente mejor o peor que el nivel de comparación, este método no provee un límite mínimo en cuanto mejor o peor.

#### **3.8.2.4.1. Análisis de varianza de un factor para las materias primas**

El análisis de varianza de un factor de la humedad porcentual respecto al tiempo de almacenaje de las distintas materias primas estudiadas se realizó para determinar si existe una variación significativa de las medias de humedad obtenidas al paso del tiempo.

Tabla IV. **Método de interpretación del ANOVA**

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

A continuación, se detallan los significados de los símbolos relacionados con los análisis de varianza realizados en el estudio.

Tabla V. **Símbolos empleados en ANOVA**

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Interpretación</b>
GL	Grados de libertad	Cantidad de valores brindados para estimar los valores de los parámetros de una población infinita.
SC Ajust.	Sumas ajustadas de los cuadrados.	Medida de variación para los diferentes componentes del modelo.
MC Ajust.	Cuadrados de medios ajustados.	Medida de variación de términos a un modelo independiente del orden de los valores.
Valor F	Estadística de prueba.	Valor de referencia para la toma de decisión de la significancia estadística de los términos del modelo.
A	Nivel de Significancia	Significancia porcentual de la diferencia de medias en el análisis.
Valor P	Valor $p \leq \alpha$ : Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas. Valor $p > \alpha$ : Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas.	Probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula.
S	Desviación estándar.	Distancia que separa a los valores de los valores ajustados.
R-cuad.	Porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo.	Ajuste de los datos al modelo lineal
R-cuad. (ajustado)	Porcentaje de la variación en la respuesta que es explicada por el modelo ajustado para el número de predictores.	Comparador de modelos con distintos números de predictores.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y determinar si las diferencias entre las medias es estadísticamente significativa, debe compararse el valor de p con el nivel de significancia del 95 % para evaluar la hipótesis. Si el valor de  $p \leq \alpha$  las diferencias entre algunas medias son significativas por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no todas las medias de población son iguales, por el contrario, si  $p > \alpha$  no se cuenta con suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función del tiempo (h) de almacenaje de maíz del silo No. 1

Tabla VI. **ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.1 respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	8	0,3667	0,0458	6,88	0,000
Error	8	0,1200	0,0067		
Total	6	0,4867			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla VII. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 1**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0820	75,34 %	64,38 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla VIII. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación		
0	3	14,4333	A		
76	3	14,3667	A		
72	3	14,3667	A		
48	3	14,3333	A	B	
24	3	14,3333	A	B	
4	3	14,3000	A	B	C
28	3	14,3000	A	B	C
148	3	14,1000		B	C
152	3	14,0667			C

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del silo No. 2 de almacenaje de maíz

Tabla IX. **ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No. 2 respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	2	0,7108	0,0592	6,24	0,000
Error	6	0,2467	0,0095		
Total	8	0,9574			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla X. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 2**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0974	74,24 %	62,35 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XI. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación			
0	3	14,7000	A			
4	3	14,6333	A	B		
24	3	14,6000	A	B	C	
28	3	14,5667	A	B	C	
100	3	14,4333	A	B	C	D
168	3	14,4333	A	B	C	D
148	3	14,4333	A	B	C	D
96	3	14,4333	A	B	C	D
172	3	14,4000		B	C	D
192	3	14,3667		B	C	D
120	3	14,3333			C	D
144	3	14,2667				D
124	3	14,2333				D

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del silo No. 3 de almacenaje de maíz.

Tabla XII. **ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.3 respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	8	0,5496	0,06870	3,64	0,011
Error	8	0,3400	0,01889		
Total	6	0,8896			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XIII. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 3**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,1374	61,78 %	44,80 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XIV. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiemp (h)	N	Media	Agrupación		
24	3	14,6670	A		
0	3	14,5667	A	B	
48	3	14,4333	A	B	C
28	3	14,4333	A	B	C
52	3	14,3667	A	B	C
96	3	14,3333	A	B	C
4	3	14,3330	A	B	C
100	3	14,2667		B	C
120	3	14,1667			C

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del silo No. 4 de almacenaje de maíz

Tabla XV. **ANOVA de la humedad porcentual del maíz almacenado en el silo No.4 respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	1	6,0267	0,5479	26,65	0,000
Error	24	0,4933	0,0206		
Total	35	6,5200			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XVI. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del maíz en grano en el Silo No. 4**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,1434	92,43 %	88,97 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XVII. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación			
0	3	14,6667	A			
24	3	14,6333	A	B		
48	3	14,4667	A	B		
172	3	14,3667	A	B		
196	3	14,2670	A	B	C	
192	3	14,2670	A	B	C	

Continuación de la tabla XVII.

120	3	14,2667	A	B	C		
144	3	14,2333		B	C		
216	3	13,9333			C	D	
312	3	13,5330				D	E
480	3	13,5000					E
360	3	13,4667					E

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del palmiste almacenado en sacos.

Tabla XVIII. **ANOVA de la humedad porcentual del palmiste respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	4	1,0260	0,25651	3,54	0,048
Error	0	0,7253	0,07253		
Total	4	1,7514			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XIX. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de palmiste**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,269320	58,58 %	42,02 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XX. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación	
0	3	7,170	A	
24	3	7,023	A	B
48	3	6,9167	A	B
72	3	6,680	A	B
96	3	6,4300		B

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del salvado de trigo almacenado en sacos.

Tabla XXI. **ANOVA de la humedad porcentual del salvado de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	5	1,188	0,2377	1,26	0,342
Error	12	2,264	0,1887		
Total	17	3,453			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXII. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de salvado de trigo**

S	R-cuad,	R-cuad, (ajustado)
0,434378	34,42 %	7,10 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXIII. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación
0	3	12,649	A
48	3	12,583	A
192	3	12,393	A
288	3	12,097	A
336	3	12,0400	A
456	3	12,0233	A

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) de la soya almacenada en sacos.

Tabla XXIV. **ANOVA de la humedad porcentual de la soya respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MCAjust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	7	2,54000	0,362857	145,14	0,000
Error	16	0,04000	0,002500		
Total	23	2,58000			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXV. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de la soya**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,05	98,45 %	97,77 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXVI. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación			
0	3	12,2000	A			
240	3	12,0667	A	B		
312	3	11,9333		B	C	
480	3	11,8000			C	
552	3	11,5667				D
624	3	11,3667				E
816	3	11,3333				E
696	3	11,3333				E

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del Granillo de trigo almacenado en sacos.

Tabla XXVII. **ANOVA de la humedad porcentual sub producto de Granillo de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	5	0,47592	0,095183	25,76	0,000
Error	12	0,04433	0,003694		
Total	7	0,52025			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXVIII. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento de Granillo de trigo**

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>
0,0607819	91,48 %	87,93 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXIX. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

<b>Tiempo (h)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>			
0	3	14,1100	A			
24	3	13,8933		B		
48	3	13,8133		B	C	
72	3	13,7767		B	C	
96	3	13,7133			C	D
168	3	13,5833				D

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

- ANOVA de un sólo factor de Humedad (%) en función de Tiempo (h) del destilado de trigo almacenado en sacos.

Tabla XXX. **ANOVA de la humedad porcentual del destilado de trigo respecto a su tiempo de almacenamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	5	2,51789	0,503579	169,43	0,000
Error	12	0,03567	0,002972		
Total	17	2,55356			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXXI. **Resumen del modelo de relación lineal de los valores de humedad porcentual respecto al tiempo de almacenamiento del destilado de trigo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0545181	98,60 %	98,02 %

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXXII. **Comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %**

Tiempo (h)	N	Media	Agrupación			
0	3	10,5933	A			
24	3	10,4700	A	B		
48	3	10,3800		B	C	
72	3	10,2800			C	
96	3	10,2600			C	
168	3	9,4400				D

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Por medio de modelo de ajuste se determinaron las unidades S que representan la distancia que separa a los valores de los datos de los valores ajustados, mientras menor es el valor de s mejor es el mejor describe un modelo lineal a los valores obtenidos. Por su parte R-Cuadrado es el porcentaje de la variación en la respuesta.

Por último, se realizaron comparaciones en parejas utilizando el método de Tukey con un nivel de confianza de 95 % en el que se observan las medias muestrales iguales de humedades determinadas realizando agrupaciones nombradas por letras mayúsculas. Se observa que, en todas las materias primas a excepción del salvado de trigo, se general de 3 a 5 grupos muestrales con medias iguales ya que corresponden a cambios mínimos de humedad media dentro del tiempo de muestreo de las materias primas, pero al mismo tiempo con grupos de medias distintas entre sí.

En el caso del salvado de trigo ya que no existe una variación significativa entre las medias de las humedades determinadas en el periodo de su almacenamiento, las medias fueron agrupadas en un solo grupo A.

Tabla XXXIII. **Resumen de valores P en análisis de varianza de un factor para la humedad de las materias primas respecto a su tiempo de almacenamiento**

<b>Materia Prima</b>	<b>Valor P</b>	<b>Hipótesis Nula</b>	<b>Hipótesis Alternativa</b>
Maíz Silo No. 1	0,000	X	
Maíz Silo No. 2	0,000	X	
Maíz Silo No. 3	0,011	X	
Maíz Silo No. 4	0,000	X	
Palmiste	0,048	X	
Salvado de trigo	0,342		X
Soya	0,000	X	
Granillo de trigo	0,000	X	
Destilado trigo	0,000	X	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

De acuerdo con el análisis de varianza de un factor se concluye que, para el maíz almacenado en silos, el palmiste, salvado de trigo, soya, granillo de trigo y destilado de trigo, no todas las medias de población son iguales, lo que indica que las medias de población de la humedad porcentual varían respecto al tiempo de almacenaje de estas materias primas. Por el contrario, para el caso del salvado de trigo, ya que  $p > \alpha$  las medias de población son distintas, lo que indica que la humedad porcentual de esta materia prima no varía significativamente respecto a su tiempo de almacenamiento.

Tabla XXXIV. **Resumen de los modelos de ajuste y desviación estándar para la humedad de las materias primas respecto a su tiempo de almacenamiento**

<b>Materia Prima</b>	<b>S</b>	<b>R- Cuadrado</b>
Maíz Silo No. 1	0,0820000	75,34 %
Maíz Silo No. 2	0,0974022	74,24 %
Maíz Silo No. 3	0,1374370	61,78 %
Maíz Silo No. 4	0,1433720	92,43 %
Palmiste	0,2693200	58,58 %
Salvado de trigo	0,4343780	34,42 %
Soya	0,0500000	98,45 %
Granillo de trigo	0,0607819	91,48 %
Destilado trigo	0,0545181	98,60 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

#### **3.8.2.4.2. Prueba T para la humedad de molienda y enfriado en el proceso de producción**

A continuación, se detalla la prueba T para el porcentaje humedad monitoreado en las etapas de Molienda y Enfriado e inferir si existe una variación significativa de humedad al realizarse este proceso y poder brindar información correspondiente a la correcta administración de humedad en las etapas de mezcla o acondicionamiento.

Tabla XXXV. **Método de interpretación de prueba T e índices de confianza de dos muestras: Molienda (H%); Enfriado (H%)**

$\mu_1$ : media de Molienda (H%)
$\mu_2$ : media de Enfriado (H%)
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXXVI. **Prueba T e índices de confianza de dos muestras: Molienda (H%); Enfriado (H%)**

Hipótesis nula		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna		$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
<b>Valor T</b>	<b>GL</b>	<b>Valor p</b>
5,45	74	0,000

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

De acuerdo con la prueba T realizada, puesto que el valor p es insignificante, por lo cual, se rechaza la hipótesis nula y se infiere que las humedades determinadas en la molienda y las determinadas en la etapa de enfriado son distintas, lo que apoya la importancia estudio ya que ambas medias deberían ser significativamente iguales para demostrar que no existe merma en el proceso.

### 3.8.2.4.3. Prueba T para la humedad de mezcla y molienda

A continuación, se detallan los valores de la prueba T para la humedad de mezcla y molienda de cinco tipos de alimento balanceada para animales.

Tabla XXXVII. **Método de interpretación de prueba T e índices de confianza de dos muestras: mezcla (H%); molienda (H%)**

$\mu_1$ : media de Molienda (H%)
$\mu_2$ : media de Mezcla (H%)
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

*No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.*

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla XXXVIII. **Prueba T e índices de confianza de dos muestras: molienda (H%); Enfriado (H%)**

Hipótesis nula		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna		$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
<b>Valor T</b>	<b>L</b>	<b>Valor p</b>
-1,33	65	0,188

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

De acuerdo con la prueba T realizada, ya que el valor p es 0,000, que es menor al nivel de significancia  $\alpha$  de 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las humedades determinadas en las etapas de molienda y mezcla son distintas, por lo que se concluye que existe una variación significativa en la

humedad posterior a la molienda, probablemente generada por la fricción durante el proceso de molienda.

#### **3.8.2.4.4. Prueba de comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu**

A continuación, se describe en análisis de varianza relacionado con la prueba de comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu.

Tabla XXXIX. **ANOVA de la merma en cada etapa del proceso de producción de alimentos balanceados de animales**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Proceso de Producción	4	3939	984,66	48,21	0,000
Error	211	4310	20,43		
Total	215	8248			

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

De acuerdo con el análisis de varianza de un factor se concluye que no todas las medias de población de las mermas producidas en las distintas etapas de producción de alimentos balanceados para animales son iguales, esto indica que la merma no es producida en la misma proporción en todas las etapas.

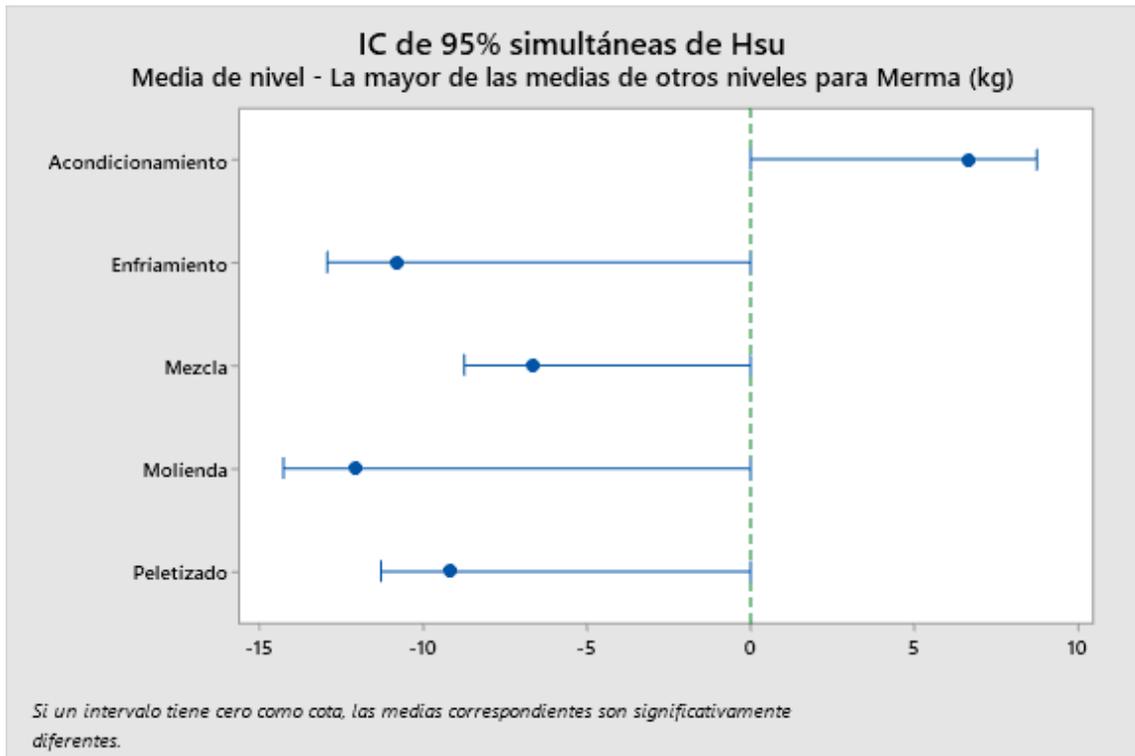
Tabla XL. Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU

Diferentes niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Merma Acondicionamiento - Merma Mezcla	6,663	0,953	(0,000; 8,738)	6,99	0,000
Merma Enfriamiento - Merma Acondicionamiento	-10,839	0,953	(-12,914; 0,000)	-11,38	0,000
Merma Mezcla - Merma Acondicionamiento	-6,663	0,953	(-8,738; 0,000)	-6,99	0,000
Merma Molienda - Merma Acondicionamiento	-12,05	1,01	(-14,25; 0,000)	-11,92	0,000
Merma Peletizado - Merma Acondicionamiento	-9,202	0,953	(-11,277; 0,000)	-9,66	0,000

*Nivel de confianza individual = 96,94%*

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Figura 12. Intervalos de confianza de das comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

De acuerdo al método de comparaciones múltiples (MBC) de Hsu, se concluye que, ya que las cotas de los intervalos son cero, existe una diferencia significativa entre las medias correspondientes a las mermas producidas, entre las medias correspondientes, además se observa que la el intervalo de confianza correspondiente a la merma producida en el acondicionamiento está por encima de cero, por lo que es significativamente mayor a los valores de merma determinados en las demás etapas de producción.



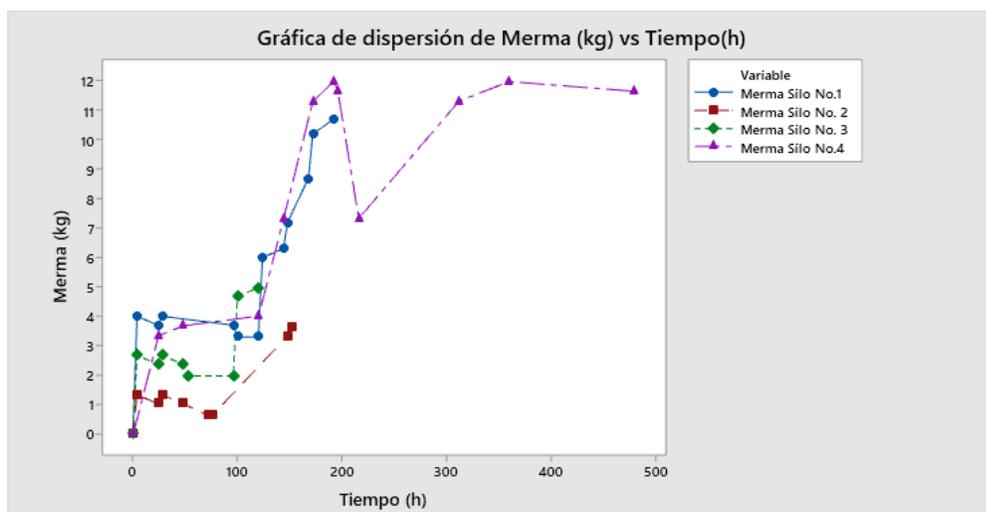
## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores calculados de merma en el almacenamiento de las materias primas primar con mayor índice de merma en el proceso de producción de alimentos balanceados para animales.

### 4.1. Merma por pérdida de humedad en el almacenamiento de materias primas

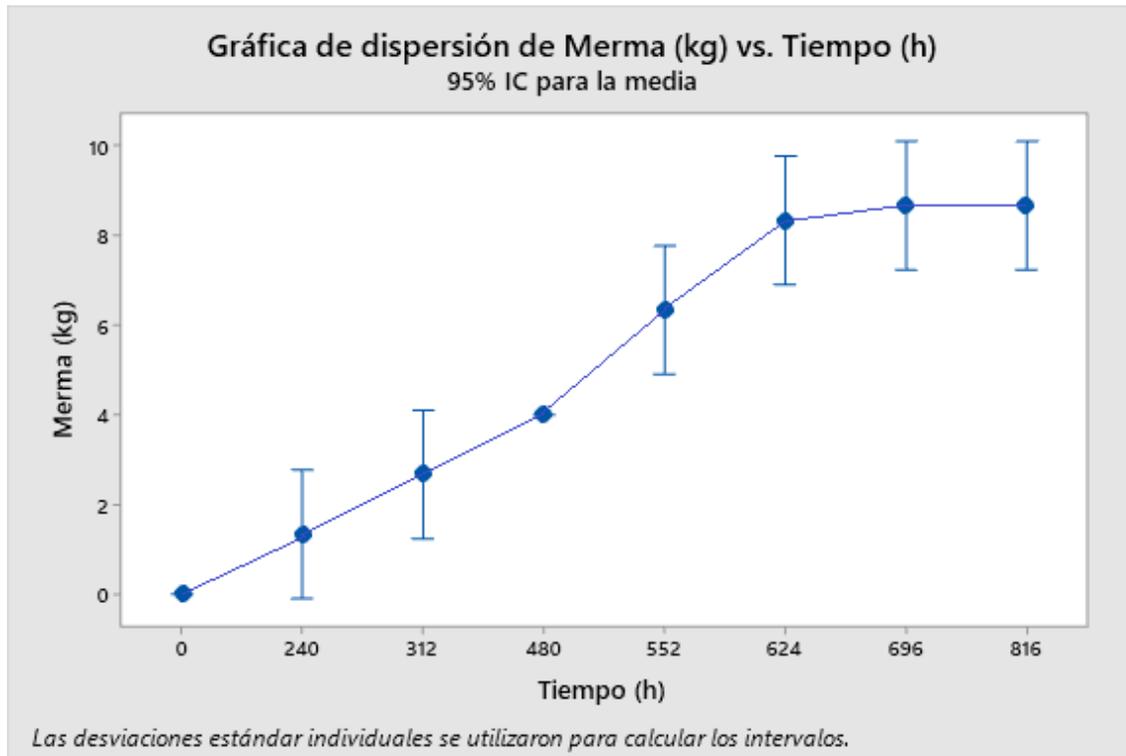
A continuación, se observan los valores de merma de maíz en su tiempo máximo de almacenaje en cuatro silos para la producción de alimentos balanceados para animales.

Figura 13. Merma de Maíz en grano en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton)



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

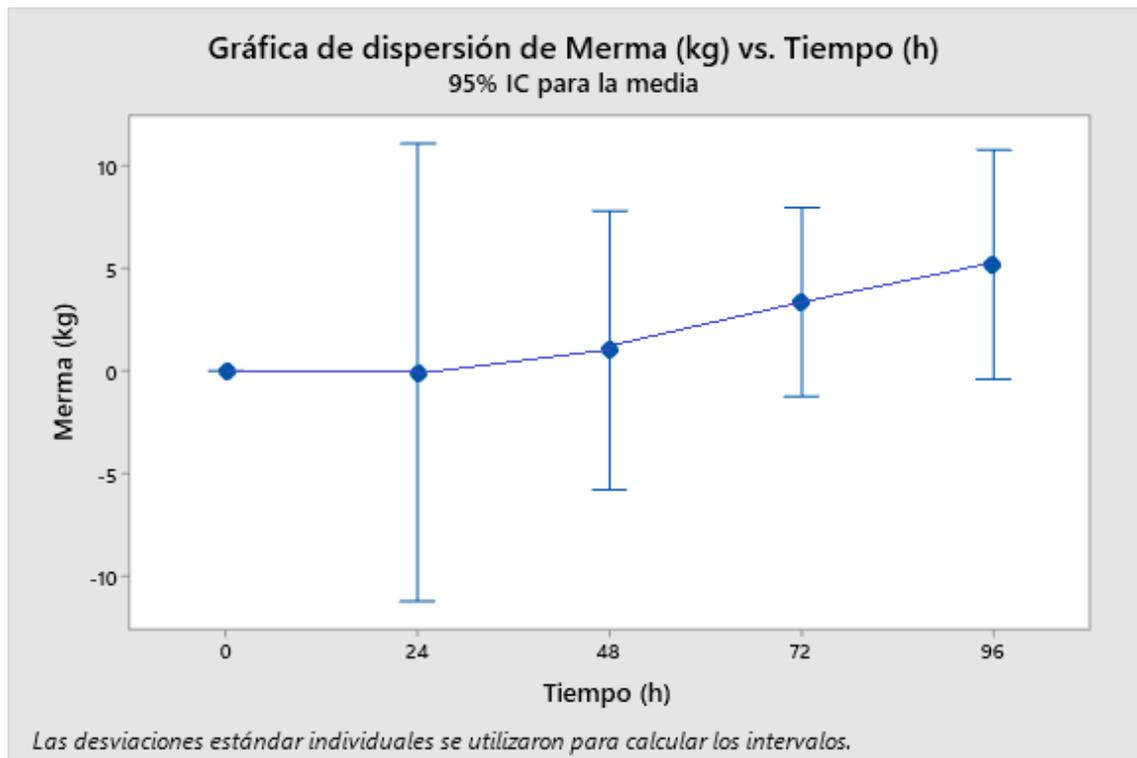
Figura 14. **Merma de Soya en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton).**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Se observa una tendencia ascendente en la merma producida por la pérdida de humedad en un máximo de almacenamiento de 816 horas. De acuerdo con el ANOVA realizado a los datos obtenidos en la experimentación se confirma que las medias poblacionales de la humedad y por lo tanto la merma aumenta respecto al tiempo de almacenaje de esta materia prima.

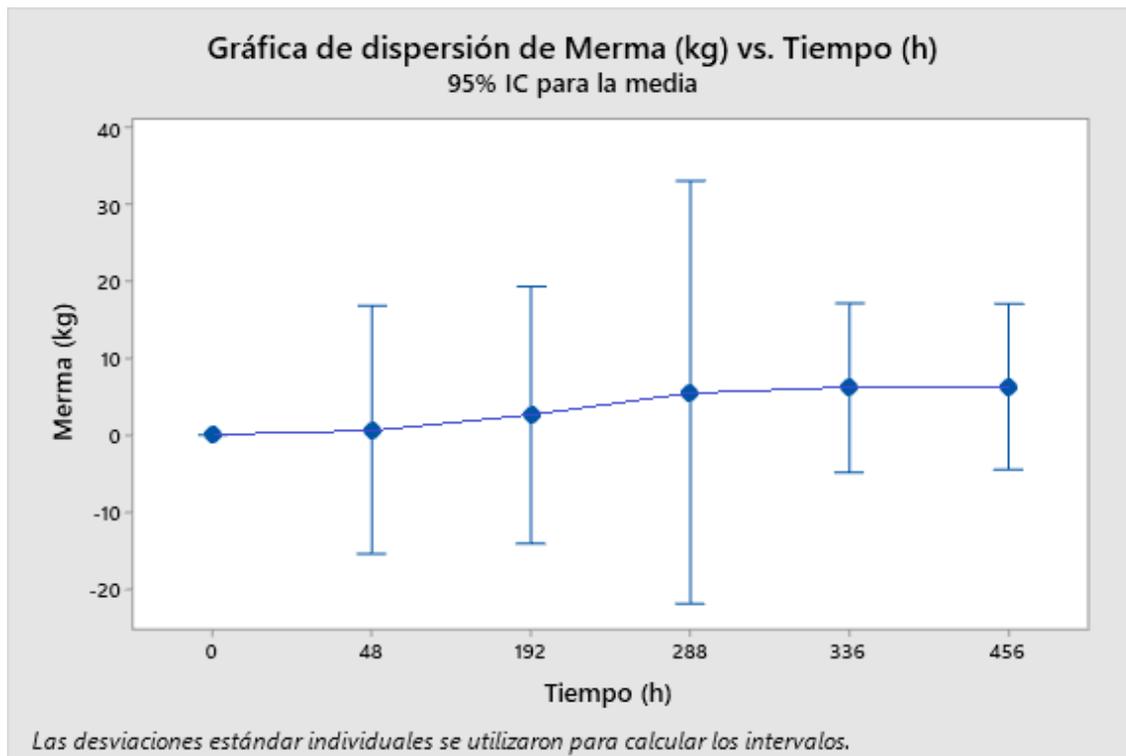
Figura 15. **Merma de Palmiste en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton)**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Para este caso se observa una tendencia ascendente en la merma producida por la pérdida de humedad en un máximo de almacenamiento de 96 horas, se puede observar que el intervalo de merma de las primeras 24 horas de almacenamiento cubre los valores de merma promedio máximos de 96 horas de almacenamiento por lo que es posible que esta materia llegue a su máximo de merma en este periodo de tiempo. De acuerdo con el ANOVA realizado a los datos obtenidos en la experimentación se establece que las medias poblacionales de la humedad y por lo tanto la merma aumenta respecto al tiempo de almacenaje de esta materia prima.

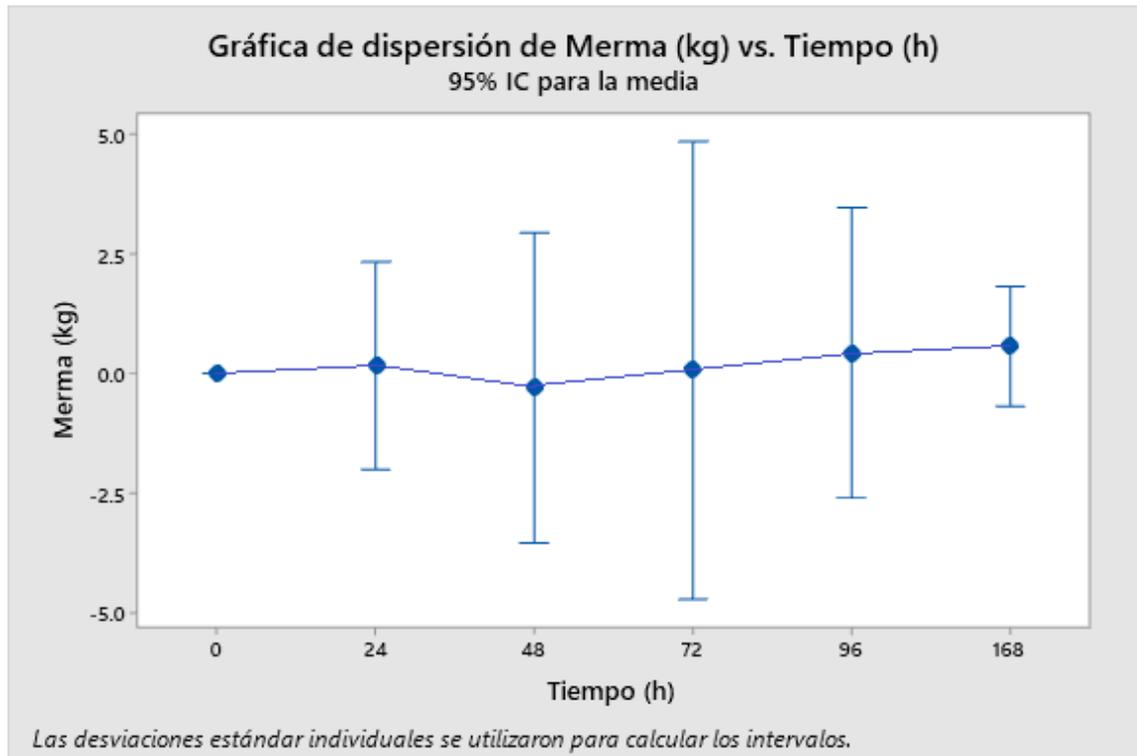
Figura 16. **Merma de Salvado de trigo en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton)**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Para este caso se observa una tendencia ascendente en la merma producida por la pérdida de humedad en un máximo de almacenamiento de 456 horas. De acuerdo con el ANOVA realizado a los datos obtenidos en la experimentación se establece que las medias poblacionales de la humedad y por lo tanto las mermas porcentuales no varían respecto al tiempo de almacenaje de esta materia prima, por lo que probablemente su causa de merma no esté relacionada con la pérdida de humedad durante su almacenamiento y es necesario realizar un seguimiento más profundo para poder establecer una causa más probable.

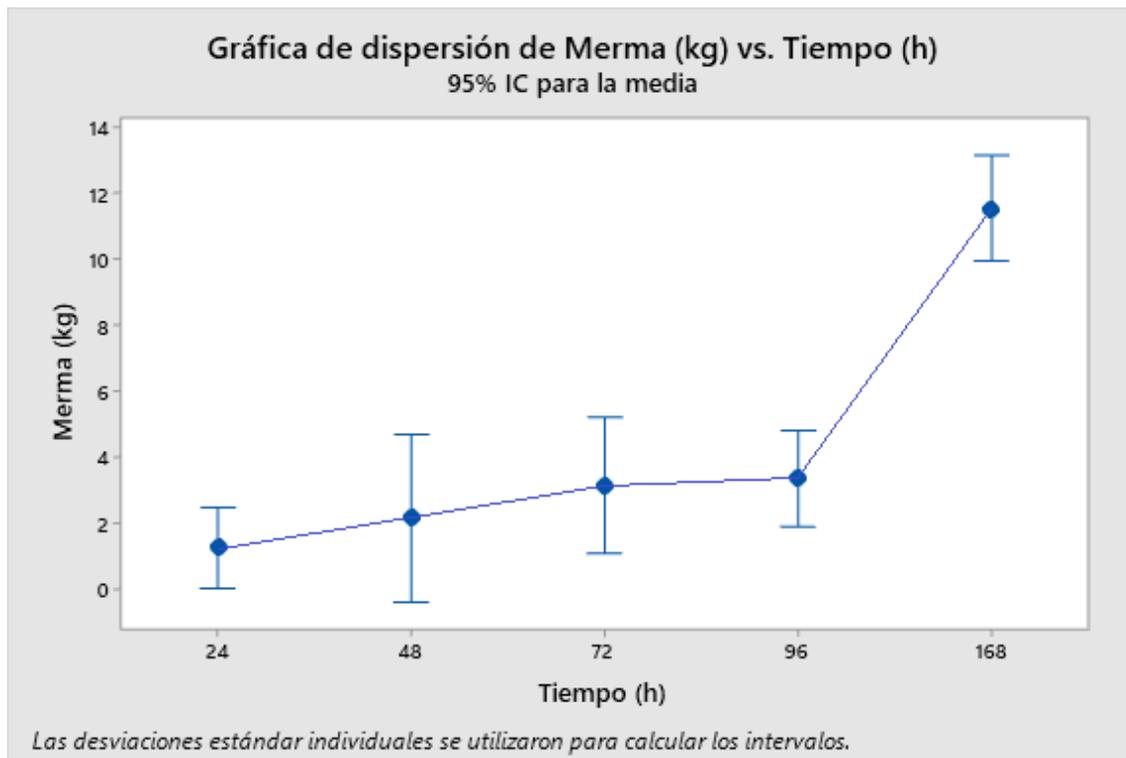
Figura 17. **Merma de Granillo de trigo en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton)**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

De acuerdo al ANOVA realizado a los datos obtenidos en la experimentación se establece que las medias poblacionales de las mermas porcentuales varían respecto al tiempo de almacenaje de esta materia prima, no obstante se observa una desviación estándar significativa en los valores de merma determinados entre las 48 y 96 horas de almacenamiento por lo que se consideran insuficientes los datos obtenidos para afirmar que esta tendencia indica de forma certera una variación de merma en el periodo máximo de almacenamiento.

Figura 18. **Gráfica de Merma de Destilado de Maíz en función su tiempo de almacenaje para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton)**



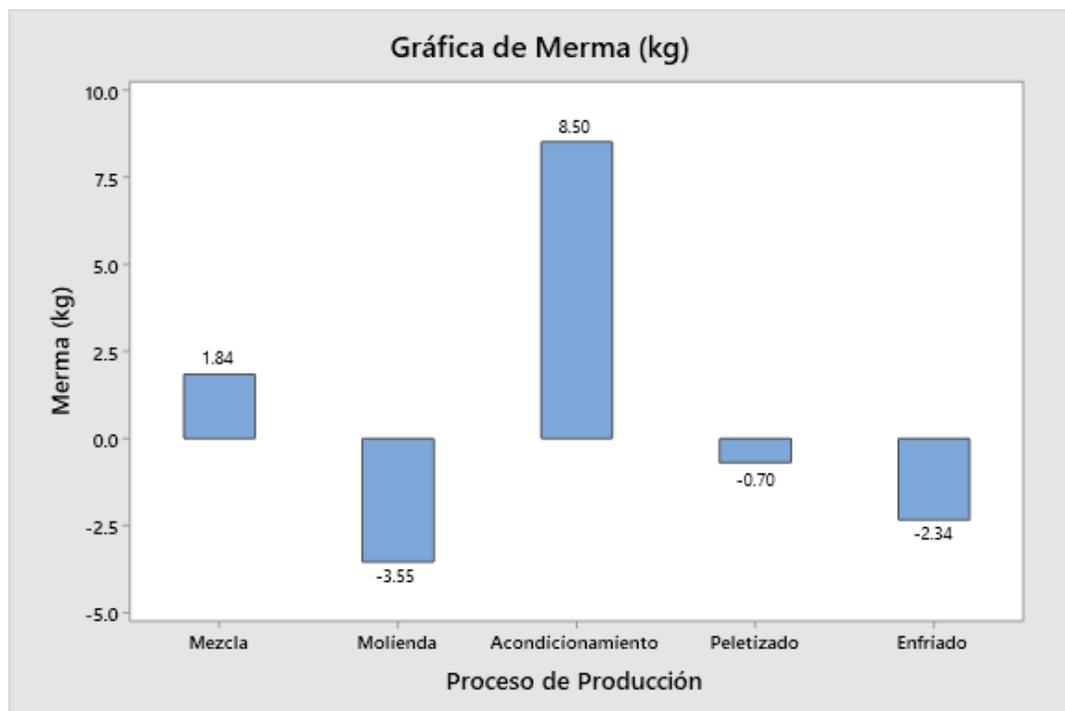
Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

En este caso se observa una tendencia ascendente en la merma producida por la pérdida de humedad con un aumento considerable en el periodo entre las 96 y 168 horas de almacenamiento. De acuerdo con el ANOVA realizado a los datos obtenidos en la experimentación se confirma que las medias poblacionales de la humedad y como se observa mermas varían significativamente respecto al tiempo de almacenaje de esta materia prima.

#### 4.2. Merma generada en las operaciones de producción

A continuación, se observa la merma promedio determinada en las etapas de producción de los cinco tipos de alimentos balanceados para animales de mayor producción y venta en la empresa de estudio.

Figura 19. Merma promedio generada en los procesos de producción para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) de producto terminado



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

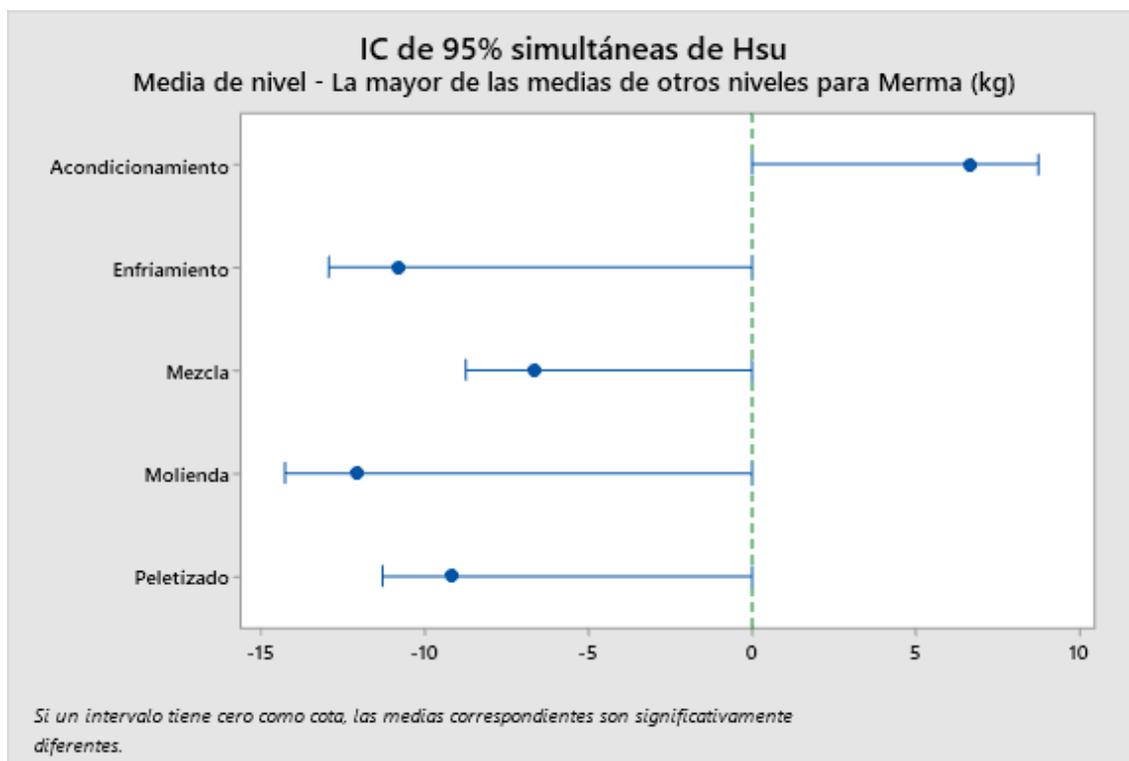
Se observa que las etapas de mezcla y molienda presentan merma de acuerdo con los valores establecidos por la empresa para estos procesos, por el contrario, los procesos de molienda, peletizado y enfriado muestran valores

negativos de merma que indican un aumento en masa por el aumento de humedad respecto a la esperada en estas etapas.

#### 4.3. Análisis de medias de merma generada por la pérdida de humedad en el proceso de producción de alimentos balanceados para animales

A continuación, se observa el análisis de comparaciones múltiples con el mejor con para inferir estadísticamente cual es la etapa que produce la mayor merma en el proceso productivo de alimentos balanceados para animales.

Figura 20. Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de Hsu



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Puede observarse que la merma promedio producida en la etapa acondicionamiento es significativamente mayor a la determinada en las demás etapas de producción.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Al realizar el monitoreo de la humedad durante el almacenamiento de seis materias primas en la producción de alimentos balanceados para animales, se inició con la selección de estas, y de acuerdo al historial de merma realizado por la empresa, el maíz en grano, soya, palmiste, salvado de trigo, granillo de trigo y el destilado de maíz, son las materias primas con mayor índice de merma.

En la figura 13. se muestra la merma una tendencia ascendente. Esto significa que mientras mayor es el tiempo de almacenaje, dentro de los silos, mayor es la merma generada, alcanzando su merma máxima en el periodo comprendido entre las 192 y 480 horas con un promedio de  $11,67 \pm 1,67$  kg. Se pueden variaciones importantes entre horario matutino y vespertino, ya que, cualquier cambio en la temperatura externa a los silos podría modificar la humedad de los granos, mostrando menor merma durante la tarde que durante el periodo matutino.

En la Figura 14, se observa una tendencia ascendente en la merma de la soya almacenada para la producción de alimentos balanceados para animales, de acuerdo con esto mientras mayor sea el tiempo de almacenaje, mayor será la merma generada, se destaca entre las 624 y 816 horas de almacenamiento, la merma empieza a estabilizarse, esto indica un estancamiento en la pérdida del contenido de agua en la materia prima.

La merma máxima determinada es de  $8,67 \pm 0,36$  kg, en un periodo de almacenamiento de 816 horas para una base de cálculo de 1 000 kg de soya en almacenamiento.

A continuación, se muestra una gráfica de merma en función tiempo de almacenamiento de palmiste en hojuela (Ver figura 15.) esta muestra una tendencia ascendente, mientras mayor sea el tiempo de almacenaje, mayor será la merma generada, esta grafica muestra que a pesar de llegar al tiempo máximo de almacenamiento no se llega a una estabilización de la pérdida de humedad en la muestra, con una merma constante ente las 24 y 72 horas de almacenamiento, y una merma de  $5,87 \pm 1,27$  kg en un período 96 horas para una base de cálculo de 1 000 kg de palmiste en almacenamiento.

Luego se muestra la gráfica de merma en función del tiempo de almacenaje de salvado de trigo (ver figura 16.), misma que muestra un comportamiento ascendente con una pendiente menos pronunciada en las últimas horas de almacenaje, lo que indica que mientras mayor es el tiempo de almacenaje, mayor es la merma generada pero en el periodo entre las 336 a 456 horas empieza a estabilizarse la pérdida de agua de esta materia prima, ya sea porque las condiciones externas que no permiten una mayor pérdida o porque el contenido de agua del Salvado de trigo a disminuido lo suficiente para que su merma en la últimas horas de almacenaje se vuelva menos significativa. Presentando una merma promedio de  $6,26 \pm 2,22$  kg para un periodo de 456 horas para una base de cálculo de 1 000 kg de salvado de trigo en almacenamiento.

Para el granillo de trigo la gráfica de dispersión (ver figura 17.) respecto al tiempo de almacenaje máximo muestra que, al comprar con las demás materias primas observadas, existe un periodo de aumento de humedad en la muestra, lo que se refleja en una diferencia negativa. Ya que la merma indica pérdida, un valor negativo de esta indica el aumento de humedad, esto posiblemente se debe al aumento general de la humedad en el ambiente ya que previo a las 24 horas y después de las 48 horas de almacenamiento.

Se presenta un comportamiento ascendente en la gráfica, obteniendo una merma total de  $0,93 \pm 0,10$  kg en un periodo de 168 horas de almacenamiento, para una base de cálculo de 1 000 kg de granillo de trigo en almacenamiento. Esta fue la materia prima que presentó la menor merma en el tiempo total de almacenamiento además de intervalos tan grandes que a pesar de que estadísticamente indica que las medias son diferentes se observa que esta diferencia es insignificante.

Por último, se presenta el monitoreo de humedad realizado el destilado de maíz durante su almacenaje. Con los datos obtenidos se realizó una gráfica (Ver figura 18.) de la merma producida respecto a tiempo máximo de almacenaje de la materia prima, esta presenta un comportamiento ascendente, con un aumento considerable durante su ultimas horas de almacenaje, por lo que se muestra que en lugar de estabilizar su humedad en la muestra, el punto de merma final posiblemente aumenta considerablemente en las últimas horas de almacenamiento, esto puede ser causado por un aumento importante en la temperatura de la bodega de almacenaje, o reflejar el comportamiento de la humedad en el destilado de maíz en el tiempo.

De acuerdo con los datos obtenidos se generó una merma de  $11,53 \pm 0,27$  kg en un periodo de 168 horas, para una base de cálculo de 1 000 kg de destilado de maíz en almacenamiento. generándose la mayor merma en un periodo correspondiente de las 96 a las 168 horas de almacenamiento.

Se realizó el análisis de merma producida en cada uno de los procesos de producción de la planta, utilizando como base los valores de humedad estándar teórica a obtenerse al finalizar cada una de las operaciones de producción (ver tabla III.), este análisis se realizó para los cinco alimentos balanceados con mayor producción por demanda dentro de la empresa.

Para cada uno de estos alimentos se realizó el seguimiento de distintos batches muestreando de acuerdo con el procedimiento realizado por la empresa y realizando molienda en el producto obtenido en las etapas en las que fue necesario (peletizado y enfriado), todas las humedades fueron obtenidas por el método de termobalanza.

Por medio del monitoreo realizado se obtuvo una gráfica. (Ver figura 19.) que muestra la merma en kilogramos producida en cada una de las operaciones de producción con una base de producción de 1 tonelada (1 000 kg). Es importante tomar en cuenta que los procesos son continuos, por lo que al corregir algún proceso se generará una modificación en cadena de las mermas estimadas durante su monitoreo.

Se observa una merma promedio de 1,84 kg por cada tonelada producida durante el proceso de mezcla, por lo que la formulación de la materia prima no se está realizando de manera correcta, esto debido a que posiblemente no se realiza de acuerdo a la humedad de los componentes en el momento de mezcla, sino después de un periodo de almacenaje, mismo en el que se ha estimado, existe un porcentaje de humedad perdido en las materias primas de mayor uso para las formulaciones de todos los alimentos balanceados.

Por el contrario, el proceso de molienda muestra una merma negativa de -3,55 kg promedio acuerdo al valor esperado por la empresa, esto indica que durante el proceso de molienda se obtiene un valor de humedad mayor al esperado, esto ocurre en mayor porcentaje en los alimentos para cerdo en etapa de finalización y el ganado lechero, es importante denotar que el alimento para pollo en etapa de inicio no pasa por el proceso de molienda ya que en su mezcla se emplean materias primas ya molidas.

El aumento de humedad y por tanto merma negativa en este proceso, indica que la materia prima molida presenta un mayor porcentaje de humedad, esto podría ocurrir ya que al moler las materias primas podría liberarse aceite o agua que no pudo extraerse en el proceso de mezcla.

La figura 19 indica que el proceso de acondicionamiento genera una merma de 8,50 kg promedio, esta operación es de suma importancia ya que gracias a este proceso la consistencia y textura final del producto será la deseada, la generación de merma en este proceso después de que el proceso previo indicó una merma negativa demuestra que este proceso se está realizando de una manera incorrecta o que derivado de los problemas de formulación el proceso está generando merma inesperada.

Luego del proceso de acondicionamiento se encuentra el proceso de peletizado, en el cual se da forma de pellet a el producto para empaque, este proceso generó una merma de -0,70 kg, este valor indica que no se genera merma directamente en este proceso, por el contrario, la merma total se está reduciendo, por lo que este proceso se está realizando de manera correcta con algunas variaciones de acuerdo a cada una de las formulaciones.

Por último, el proceso de enfriado muestra una merma total de -2,34 kg, de acuerdo con este valor, por medio del enfriado se realiza una corrección de la merma acumulada, generada en el proceso de acondicionamiento. Tomando en cuenta la acumulación de la merma al corregir el proceso de acondicionamiento, podría generarse un valor negativo o minimizarse la merma total en el producto final que es de 3,82 kg por tonelada producida.

Con los datos observados en la figura no. 11 se realizó un análisis de MCB de Hsu (Ver figura 12.), de acuerdo con este análisis el proceso de acondicionamiento genera la mayor merma en el proceso, los demás procesos muestran mermas mínimas o negativas por lo que el proceso en el que se centra la generación de merma es el acondicionamiento.

## CONCLUSIONES

1. Todas las materias primas estudiadas generan merma por pérdida de humedad, misma que tiene una tendencia ascendente curva mientras mayor sea su periodo de almacenaje. Mostrando la mayor merma en el maíz en grano almacenado en silos.
2. Se estimó una merma por pérdida de humedad promedio por tonelada de producto terminado de  $1,84 \pm 1,47$  kg. en el proceso de mezcla de materia prima,  $-3,55 \pm 1,24$  kg. en el proceso de molienda,  $8,50 \pm 1,96$  kg en el proceso de acondicionamiento,  $-0,70 \pm 1,33$  kg en el proceso de peletizado y  $-2,34 \pm 1,38$  kg en el proceso de enfriamiento. Basados en datos obtenidos en el proceso de producción de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales para una base de cálculo de 1 000 kg (1 Ton) de producto.
3. Se infiere que la etapa del proceso de producción de alimentos balanceados para animales en la que más probable que se genere la mayor merma en masa es la etapa de acondicionamiento.
4. La medición de merma por medio de controles periódicos estandarizados durante el proceso de almacenamiento y producción de alimentos balanceados para animales permite evidenciar que el mayor porcentaje de merma se acumula en el proceso de almacenamiento, puesto que las mediciones revelan un promedio de merma de  $11,67 \pm 1,67$  kg en el tiempo máximo de almacenamiento del maíz en grano lo que supera el promedio de merma del proceso de producción total de  $8,43 \pm 1,85$  kg.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis de humedad en materia primas previo a su uso para la reformulación de contenido de agua en mezcla para productos terminados.
2. Contrarrestar la generación de merma por pérdida de humedad en el almacenamiento de maíz en grano, realizar estudios dirigidos a su corrección y a la respuesta del ensamblaje de un sistema de humectación del grano previo al proceso de mezcla o de molienda.
3. Realizar pruebas en la producción de las distintas fórmulas de alimentos balanceados para animales con diferentes porcentajes de vapor en acondicionamiento para observar variaciones de humedad más favorables para la disminución de merma.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BLANCO VALDES, Yaysis; DURAÑONA, Hauary; ACOSTA ROCA, Rosa. *Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados*. [en línea]. <<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n4/ctr10416.pdf>>. [Consulta: 10 de junio de 2019].
2. BUITRAGO, Julian; PORTELA, Roberto; JIMENÉZ, Ivan. *Semilla y torta(harina) de soya en alimentación de cerdos*. [en línea]. <[http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/digital/CIAT\\_COLOMBIA\\_000222\\_Semilla\\_y\\_torta\\_harina\\_de\\_soya\\_en\\_alimentaci%C3%B3n\\_de\\_cerdos.pdf](http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/digital/CIAT_COLOMBIA_000222_Semilla_y_torta_harina_de_soya_en_alimentaci%C3%B3n_de_cerdos.pdf)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
3. CAMPOS-GANADOS, Carlos Mario; ARCE-VEGA, Javier. *Sustitutos de maíz utilizados en la alimentación animal en Costa Rica*. [en línea]. <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/27327>>. [Consulta: 15 de junio de 2019].
4. CHAQUILLA-QUILCA, Guadalupe; BALANDRAN-QUINTANA, René Renato; MENDOZA-WILSON, Ana María; MERCADO-RUIZ, Jorge Nemesio. *Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo*. [en línea]. <<http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02137.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].

5. CARVAJAL, Carmen; MÁRQUEZ, Maritza; GUTIÉRREZ, Bárbara; GONZÁLEZ-VERA, Alex; ARELLANO, Julia; ÁVILA, Manuel. *Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya*. [en línea]. <[http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_agro/article/view/15258](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/15258)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
6. Comisión Guatemalteca de Normas. *Concentrados para animales. Alimento para aves. Especificaciones. NGO 34 170*. Guatemala: COGUANOR, Ministerio de Economía, 1988. 10 p.
7. \_\_\_\_\_. *Concentrados para animales. Alimento para bovinos. Especificaciones. NGO 34 172*. Guatemala: COGUANOR, Ministerio de Economía, 1988. 12 p.
8. \_\_\_\_\_. *Concentrados para animales. Alimento para porcinos. Especificaciones. NGO 34 171*. Guatemala: COGUANOR, Ministerio de Economía, 1988. 9 p.
9. \_\_\_\_\_. *Determinación del contenido de humedad. 34 153 h2*. Guatemala: COGUANOR, Ministerio de Economía, 1985. 3 p.
10. \_\_\_\_\_. *Harinas de origen vegetal. Muestreo NGO 34 087*. Guatemala: COGUANOR, Ministerio de Economía, 1982. 6 p.
11. DE LEÓN, Otto. *Guía Secado y Secadores*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/402528343/Guia-de-Secado-IQ-5>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].

12. FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. [en línea]. <<http://www.fao.org/3/t0800s/t0800s.pdf>>. [Consulta: 19 de julio de 2019].
13. \_\_\_\_\_. *Buenas prácticas para la industria de piensos – Implementación del código de prácticas sobre buena alimentación animal*. [en línea]. <<http://www.fao.org/3/i1379s/i1379s.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
14. FLORES, William *Efecto de la peletización y de la extrusión sobre la estabilidad de las vitaminas*. Departamento de Nutrición Animal, 1992. 8 p.
15. GARZÓN, Vitaliano. *La soya, principal fuente de proteína en la alimentación de especies menores*. [en línea]. <<https://www.engormix.com/avicultura/articulos/soya-principal-fuente-proteina-t28541.htm>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
16. GONZÁLES, Narda. *Control de mermas y desperdicios en almacén de condimentos de industria avícola*. [en línea]. <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2365IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2365IN.pdf)>. [Consulta: 12 de junio de 2019].
17. GONZALO, Andino; MATA, Rene; MEJILLÓN, Katherine; ZUÑIGA, Erick. *Proceso de peletización*. [en línea]. <<http://www.buenstareas.com/ensayos/ProcesoDePeletizacion/2214536.html>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].

18. HAROS, Claudia Mónica. *Molienda húmeda de Maíz: Optimización del proceso y desarrollo de nuevas técnicas tendientes a mejorar la calidad de sus productos.* [en línea]. <[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_3217\\_Haros.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3217_Haros.pdf)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
19. HART, Leslie. *Análisis moderno de los alimentos.* [en línea]. <[https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es\\_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD\\_ILS\\$002f0\\$002fSD\\_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true](https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/dailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:25147/one?qu=Fisher%2C+Harry+Johnstone.%C2%A0&ic=true)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
20. LIN, Shin-Jie; PASCALL, Melvin. *Incorporation of vitamin E into chitosan and its effect on the film forming solution (viscosity and drying rate) and the solubility and thermal properties of the dried film. Food Hydrocolloid.* [en línea]. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X13001306?via%3Dihub>>. [Consulta: 15 de junio de 2019].
21. LOOR, Néstor. *Fundamento de los alimentos peletizados en la nutrición animal.* [en línea]. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=580287>>. [Consulta: 02 de julio de 2019].
22. NOLLET, Leo.; TOLDRA, Fidel. *Handbook of food analysis.* [en línea]. <[https://www.academia.edu/35072800/Leo\\_M\\_L\\_Nollet\\_Handbook\\_of\\_food\\_analysis](https://www.academia.edu/35072800/Leo_M_L_Nollet_Handbook_of_food_analysis)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].

23. PALACIOS-ROJAS. *Calidad nutricional e industrial de maíz: Laboratorio de calidad nutricional de maíz*. [en línea]. <<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/19667/59829.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
24. PINZÓN, Omar. *Estado actual y futuro de la ingeniería de control*. [en línea]. <<https://pdfs.semanticscholar.org/5d05/e791081417c1cd900890e000c8b20a20892b.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
25. Reglamento Técnico Centroamericano. *Productos utilizados en alimentación animal*. [en línea]. <<https://visar.maga.gob.gt/visar/RTCA656311BPM.pdf>>. [Consulta: 04 de junio de 2019].
26. RODRIGUEZ-ARISMÉNDIZ, Rodolfo. *Estudio de la espectroscopia dieléctrica para la medición de humedad en productos alimenticios*. [en línea]. <[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC\\_ING\\_AUT\\_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3487/DOC_ING_AUT_002.pdf?sequence=2&isAllowed=y)>. [Consulta: 20 de junio de 2019].
27. ROUDANT; DEBEAUFORT. *Moisture loss, gain and migration in foods and its impact on food quality*. [en línea]. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978184569495150006X>>. [Consulta: 10 de junio de 2019].
28. SCHEAFFER; MCCLAVE. *Probabilidad y estadística para ingeniería*. 3a ed. México: Grupo Iberoamericano, 1996. 834 p.

29. SHURSON; SPIEHS; WHITNEY. *El uso de granos secos de destilería como solubles de maíz en dietas para cerdos*. [en línea]. <[https://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/cfans\\_asset\\_414704.pdf](https://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/cfans_asset_414704.pdf)>. [Consulta: 17 de junio de 2019].
30. TIRADO, Diego; MONTERO, Piedad; ACEVEDO, Diofanor. *Estudio comparativo de método empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. Información tecnológica*. [en línea]. <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-07642015000200002&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642015000200002&lng=es&nrm=iso)>. [Consulta: 03 de julio de 2019].
31. TRIANA, Ninfa. *Evaluación de la influencia en la calidad de alimento para pollo de engorde utilizando acondicionamiento con aplicación de vapor en varios puntos*. [en línea]. <[https://www.researchgate.net/publication/317150568\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Influencia\\_en\\_la\\_Calidad\\_de\\_Alimento\\_para\\_Pollo\\_de\\_Engorde\\_Utilizando\\_Acondicionamiento\\_con\\_Aplicacion\\_de\\_Vapor\\_en\\_Varios\\_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf](https://www.researchgate.net/publication/317150568_Evaluacion_de_la_Influencia_en_la_Calidad_de_Alimento_para_Pollo_de_Engorde_Utilizando_Acondicionamiento_con_Aplicacion_de_Vapor_en_Varios_Puntos/fulltext/592811f40f7e9b9979a2453e/Evaluacion-de-la-Influencia-en-la-Calidad-de-Alimento-para-Pollo-de-Engorde-Utilizando-Acondicionamiento-con-Aplicacion-de-Vapor-en-Varios-Puntos.pdf)>. [Consulta: 10 de julio de 2019].
32. VARGAS, Emilio; MURILLO, Mario. *Composición química de subproductos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo utilizados en Costa Rica*. [en línea]. <[https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v02n01\\_0\\_09.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v02n01_0_09.pdf)>. [Consulta: 24 de junio de 2019].

33. VILLEGAS, William. *Propuesta de una metodología para la determinación del porcentaje de humedad del clavo de olor (eugenia caryophyllata thunb) por medio de destilación azeotrópica, variando tamaño de partícula y disolvente en una empresa comercializadora de especias.* [en línea]. <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1403\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1403_Q.pdf)> [Consulta 24 de junio de 2019].
  
34. ZINN. *Guía para el mezclado de ingredientes.* [en línea]. <[http://www.produccionanimal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/62-guia\\_mezclado\\_ingredientes.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/62-guia_mezclado_ingredientes.pdf)> [Consulta: 04 de junio de 2019].
  
35. ZUMBADO, Mario; MADRIGAL, Sergio; MARÍN, Miguel. *Composición y valor nutricional del palmiste o coquito integral de palma africana (elaeis guinensis) en pollos de engorde.* [en línea]. <[http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v16n01\\_083.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_083.pdf)>. [Consulta: 04 de junio de 2019].



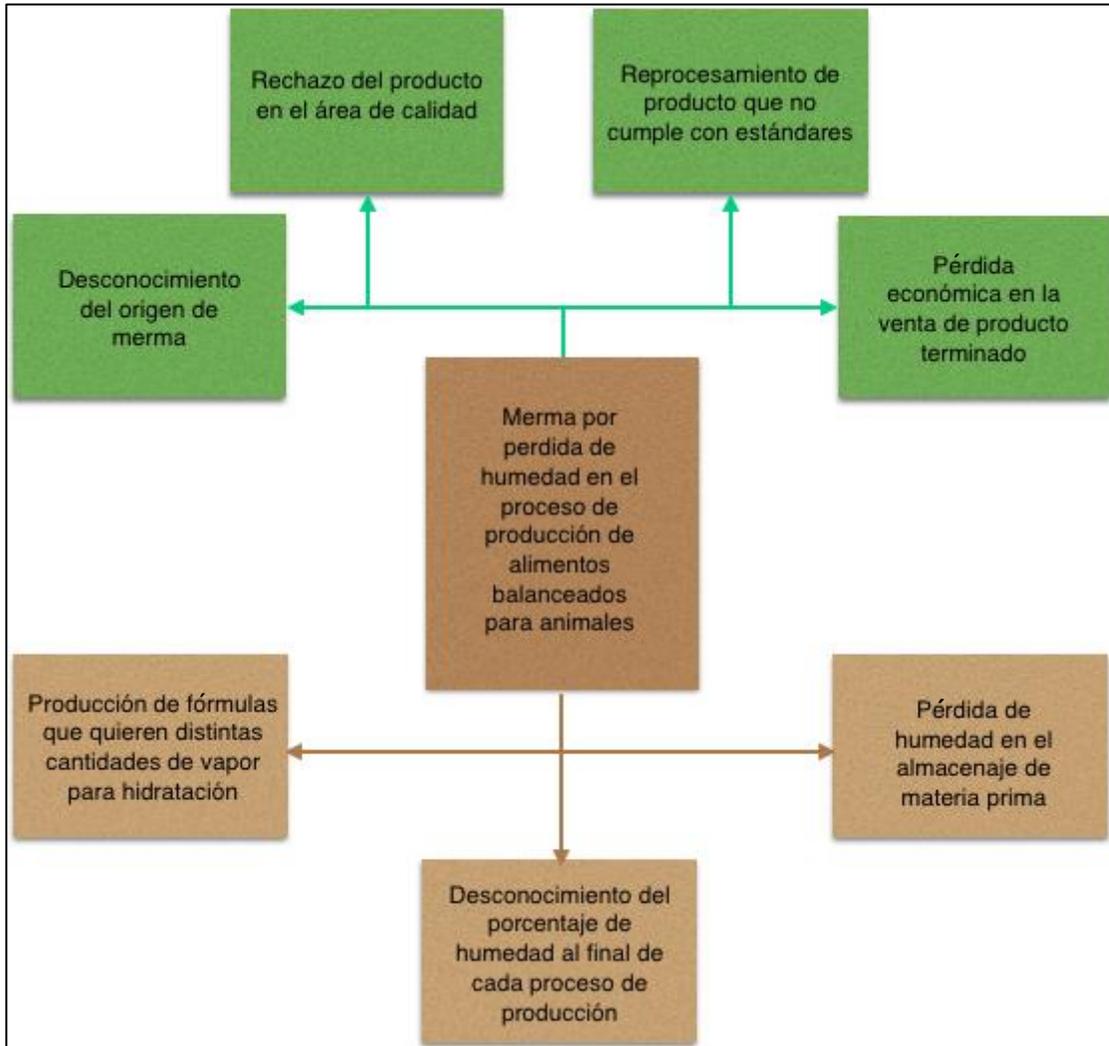
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

1er. Paso	2do. Paso	3er. Paso	4to. Paso	5to. Paso	6to. Paso
Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico	Especificación	Problema a resolver
Licenciatura en Ingeniería Química	Área de Química	Química Orgánica	Hidrocarburos	Compuestos orgánicos	Generación de merma producida por variación de humedad en la producción de alimentos balanceados.
		Análisis Cuantitativo	Métodos Analíticos	Termo gravimetría	
	Áreas de Operaciones Unitarias	Transferencia de Masa (IQ 4 e IQ 5)	Secado	Humedad	
	Área de Fisicoquímica	Fisicoquímica	Propiedades Fisicoquímicas	Porcentaje de humedad	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

## Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

Apéndice 3.

**Datos experimentales**

Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 1

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	$\bar{X}$	<b>s</b>	<b>Merma promedio (kg)</b>	<b>Merma acumulativa (kg)</b>
0	1	14,50	14,43	0,06	---	---
	2	14,40				
	3	14,40				
4	1	14,30	14,30	0,00	1,33	1,33
	2	14,30				
	3	14,30				
24	1	14,40	14,33	0,06	-0,30	1,03
	2	14,30				
	3	14,30				
28	1	14,40	14,30	0,17	0,30	1,33
	2	14,10				
	3	14,40				
48	1	14,30	14,33	0,06	-0,30	1,03
	2	14,30				
	3	14,40				
72	1	14,40	14,37	0,06	-0,40	0,63
	2	14,40				
	3	14,30				
76	1	14,30	14,37	0,06	0,00	0,63
	2	14,40				
	3	14,40				
148	1	14,00	14,10	0,10	2,70	3,33
	2	14,10				
	3	14,20				
152	1	14,10	14,07	0,06	0,30	3,63
	2	14,00				
	3	14,10				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 1.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h).

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95 %
0	3	14,4333	0,0577	(14,3343; 14,5324)
4	3	14,3000	0,0000	(14,20; 14,40)
24	3	14,3333	0,0577	(14,2343; 14,4324)
28	3	14,3000	0,1730	(14,201; 14,399)
48	3	14,3333	0,0577	(14,2343; 14,4324)
72	3	14,3667	0,0577	(14,2676; 14,4657)
76	3	14,3667	0,0577	(14,2676; 14,4657)
148	3	14,1000	0,1000	(14,0010; 14,1990)
152	3	14,0667	0,0577	(13,9676; 14,1657)

*Desv.Est. agrupada = 0,0816497*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 2

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	s	Merma promedio (kg)	Merma acumulativa (kg)
0	1	14,8	14,70	0,10	---	---
	2	14,7				
	3	14,6				
4	1	14,5	14,30	0,00	4,00	4,00
	2	14,8				
	3	14,6				
24	1	14,5	14,33	0,06	-0,30	3,70
	2	14,7				
	3	14,6				

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo  
No. 2.

28	1	14,6	14,30	0,17	0,30	4,00
	2	14,5				
	3	14,6				
96	1	14,5	14,33	0,06	-0,30	3,70
	2	14,3				
	3	14,5				
100	1	14,4	14,37	0,06	-0,40	3,30
	2	14,3				
	3	14,6				
120	1	14,4	14,37	0,06	0,00	3,30
	2	14,3				
	3	14,3				
124	1	14,2	14,10	0,10	2,70	6,00
	2	14,3				
	3	14,2				
144	1	14,2	14,07	0,06	0,30	6,30
	2	14,2				
	3	14,4				
148	1	14,4	13,98	0,07	0,90	7,20
	2	14,4				
	3	14,5				
168	1	14,4	13,83	0,07	1,50	8,70
	2	14,5				
	3	14,4				
172	1	14,4	13,68	0,07	1,50	10,20
	2	14,5				
	3	14,3				
192	1	14,4	13,63	0,07	0,50	10,70
	2	14,3				
	3	14,4				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h).

Tiempo (h)	Media	Desv.Est.	IC de 95 %
0	14,7000	0,1000	(14,5844; 14,8156)
4	14,6333	0,1528	(14,5177; 14,7489)
24	14,6000	0,1000	(14,4844; 14,7156)
28	14,5667	0,0577	(14,4511; 14,6823)
96	14,4333	0,1155	(14,3177; 14,5489)
100	14,4333	0,1528	(14,3177; 14,5489)
120	14,3333	0,0577	(14,2177; 14,4489)
124	14,2333	0,0577	(14,1177; 14,3489)
144	14,2667	0,1155	(14,1511; 14,3823)
148	14,4333	0,0577	(14,3177; 14,5489)
168	14,4333	0,0577	(14,3177; 14,5489)
172	14,4000	0,1000	(14,2844; 14,5156)
192	14,3667	0,0577	(14,2511; 14,4823)

*Desv.Est. agrupada = 0,0974022*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 3.

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	s	Merma promedio (kg)	Merma acumulativa (kg)
0	1	14,6	14,57	0,15	---	---
	2	14,7				
	3	14,4				
4	1	14,1	14,30	0,00	2,67	2,67
	2	14,3				
	3	14,6				

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 3.

24	1	14,5	14,33	0,06	-0,30	2,37
	2	14,9				
	3	14,6				
28	1	14,5	14,30	0,17	0,30	2,67
	2	14,4				
	3	14,4				
48	1	14,4	14,33	0,06	-0,30	2,37
	2	14,4				
	3	14,5				
52	1	14,4	14,37	0,06	-0,40	1,97
	2	14,4				
	3	14,3				
96	1	14,3	14,37	0,06	0,00	1,97
	2	14,2				
	3	14,5				
100	1	14,3	14,10	0,10	2,70	4,67
	2	14,3				
	3	14,2				
120	1	14,2	14,07	0,06	0,30	4,97
	2	14,2				
	3	14,1				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) de maíz en el silo No.3.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
0	3	14,5667	0,1528	(14,4000; 14,7334)
4	3	14,3333	0,252	(14,167; 14,500)
24	3	14,667	0,208	(14,500; 14,833)
28	3	14,4333	0,0577	(14,2666; 14,6000)
48	3	14,4333	0,0577	(14,2666; 14,6000)
52	3	14,3667	0,0577	(14,2000; 14,5334)
96	3	14,3333	0,1528	(14,1666; 14,5000)
100	3	14,2667	0,0577	(14,1000; 14,4334)
120	3	14,1667	0,0577	(14,0000; 14,3334)

*Desv.Est. agrupada = 0,137437*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h).

<b>Tiempo (h)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95 %</b>
0	3	14,6667	0,0577	(14,4958; 14,8375)
24	3	14,6333	0,0577	(14,4625; 14,8042)
48	3	14,4667	0,0577	(14,2958; 14,6375)
120	3	14,2667	0,0577	(14,0958; 14,4375)
144	3	14,2333	0,0577	(14,0625; 14,4042)
172	3	14,3667	0,0577	(14,1958; 14,5375)
192	3	14,267	0,208	(14,096; 14,438)
196	3	14,267	0,252	(14,096; 14,438)
216	3	13,9333	0,0577	(13,7625; 14,1042)
312	3	13,533	0,208	(13,362; 13,704)
360	3	13,4667	0,0577	(13,2958; 13,6375)
480	3	13,500	0,265	(13,329; 13,671)

*Desv.Est. agrupada = 0,143372*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 4.

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	s	Merma promedio (kg)	Merma acumulativa (kg)
0	1	14,7	14,67	0,06	---	---
	2	14,6				
	3	14,7				
24	1	14,3	14,33	0,06	3,33	3,33
	2	14,4				
	3	14,3				
48	1	14,2	14,30	0,10	0,33	3,67
	2	14,4				
	3	14,3				
120	1	14,2	14,27	0,21	0,33	4,00
	2	14,1				
	3	14,5				
144	1	13,9	13,93	0,06	3,33	7,33
	2	13,9				
	3	14,0				
172	1	13,7	13,53	0,21	4,00	11,33
	2	13,3				
	3	13,6				
192	1	13,5	13,47	0,06	0,67	12,00
	2	13,4				
	3	13,5				
196	1	13,7	13,50	0,26	-0,33	11,67
	2	13,6				
	3	13,2				
216	1	13,9	13,93	0,06	-4,33	7,33
	2	13,9				
	3	14,0				

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma de maíz entero respecto a su tiempo de almacenaje silo No. 4.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	$\bar{X}$	<b>s</b>	<b>Merma promedio (kg)</b>	<b>Merma acumulativa (kg)</b>
312	1	13,7	13,53	0,21	4,00	11,33
	2	13,3				
	3	13,6				
360	1	13,5	13,47	0,06	0,67	12,00
	2	13,4				
	3	13,5				
480	1	13,7	13,50	0,26	-0,33	11,67
	2	13,6				
	3	13,2				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma en peso de maíz entero respecto al tiempo de almacenaje.

<b>Silo</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Merma (kg)</b>
1	152	3,67
2	172	10,70
3	120	4,97
4	480	11,67

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma por pérdida de humedad del palmiste en su período máximo de almacenaje.

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	s	Merma promedio (kg)
0	1	7,15	7,17	0,28	---
	2	7,46			
	3	6,90			
24	1	6,60	7,02	0,38	1,47
	2	7,12			
	3	7,35			
48	1	6,85	6,92	0,17	1,07
	2	6,79			
	3	7,11			
72	1	6,80	6,68	0,29	2,37
	2	6,89			
	3	6,35			
96	1	6,30	6,43	0,15	2,50
	2	6,39			
	3	6,60			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) del palmiste.

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	7,170	0,281	(6,824; 7,516)
24	3	7,023	0,384	(6,677; 7,370)
48	3	6,9167	0,1701	(6,5702; 7,2631)
72	3	6,680	0,289	(6,334; 7,026)
96	3	6,4300	0,1539	(6,0835; 6,7765)

*Desv.Est. agrupada = 0,269320*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma por pérdida de humedad del salvado de trigo en su período máximo de almacenaje.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	$\bar{X}$	<b>s</b>	<b>Merma promedio (kg)</b>
0	1	12,26	12,65	0,35	---
	2	12,76			
	3	12,93			
48	1	12,91	12,58	0,39	0,66
	2	12,15			
	3	12,69			
192	1	12,66	12,39	0,50	1,9
	2	11,82			
	3	12,70			
288	1	12,86	12,10	0,77	2,97
	2	12,10			
	3	11,33			
336	1	12,16	12,04	0,13	0,57
	2	11,90			
	3	12,06			
456	1	12,13	12,02	0,10	0,17
	2	11,94			
	3	12,00			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) del salvado de trigo.

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	12,649	0,347	(12,102; 13,195)
48	3	12,583	0,391	(12,037; 13,130)
192	3	12,393	0,497	(11,847; 12,940)
288	3	12,097	0,765	(11,550; 12,643)
336	3	12,0400	0,1311	(11,4936; 12,5864)
456	3	12,0233	0,0971	(11,4769; 12,5698)

*Desv.Est. agrupada = 0,434378*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma por pérdida de humedad de la soya en su período máximo de almacenaje.

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	s	Merma promedio (kg)
0	1	12,2	12,2	0,00	---
	2	12,2			
	3	12,2			
240	1	12,0	12,07	0,06	1,33
	2	12,1			
	3	12,1			
312	1	11,9	11,93	0,06	1,33
	2	12,0			
	3	11,9			
480	1	11,8	11,8	0,00	1,33
	2	11,8			
	3	11,8			

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma por pérdida de humedad de la soya en su período máximo de almacenaje.

552	1	11,5	11,57	0,06	2,33
	2	11,6			
	3	11,6			
624	1	11,3	11,37	0,06	2,00
	2	11,4			
	3	11,4			
696	4	11,4	11,33	0,06	0,33
	5	11,3			
	6	11,3			
816	7	11,3	11,33	0,06	0,00
	8	11,3			
	9	11,4			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) de soya.

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	12,2000	0,00	(12,14; 12,26)
240	3	12,0667	0,0577	(12,0055; 12,1279)
312	3	11,9333	0,0577	(11,8721; 11,9945)
480	3	11,8000	0,0000	(11,74; 11,86)
552	3	11,5667	0,0577	(11,5055; 11,6279)
624	3	11,3667	0,0577	(11,3055; 11,4279)
696	3	11,3333	0,0577	(11,2721; 11,3945)
816	3	11,3333	0,0577	(11,2721; 11,3945)

*Desv.Est. agrupada = 0,05*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma por pérdida de humedad del granillo de trigo en su período máximo de almacenaje.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	$\bar{X}$	<b>s</b>	<b>Merma promedio (kg)</b>
0	1	13,60	13,68	0,07	---
	2	13,69			
	3	13,74			
24	1	13,68	13,66	0,05	0,17
	2	13,60			
	3	13,70			
48	1	13,77	13,69	0,18	-0,30
	2	13,48			
	3	13,82			
72	1	13,70	13,68	0,02	0,07
	2	13,69			
	3	13,66			
96	1	13,55	13,64	0,10	0,43
	2	13,62			
	3	13,75			
168	1	13,50	13,58	0,07	0,57
	2	13,61			
	3	13,64			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) de granillo de trigo.

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	14,1100	0,055	(14,0335; 14,1865)
24	3	13,8933	0,1102	(13,8169; 13,9698)
48	3	13,8133	0,0208	(13,7369; 13,8898)
72	3	13,7767	0,0058	(13,7002; 13,8531)
96	3	13,7133	0,0321	(13,6369; 13,7898)
168	3	13,5833	0,0737	(13,5069; 13,6598)

*Desv.Est. agrupada = 0,0607819*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma por pérdida de humedad del destilado de maíz en su período máximo de almacenaje.

Tiempo (h)	Repetición	Humedad (%)	$\bar{X}$	S	Merma promedio (kg)
0	1	10,68	10,59	0,08	---
	2	10,56			
	3	10,54			
24	1	10,50	10,47	0,03	1,23
	2	10,46			
	3	10,45			
48	1	10,35	10,38	0,03	0,90
	2	10,39			
	3	10,40			
72	1	10,34	10,28	0,09	1,00
	2	10,18			
	3	10,32			

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma por pérdida de humedad del destilado de maíz en su período máximo de almacenaje.

96	1	10,28	10,26	0,02	0,20
	2	10,25			
	3	10,25			
168	1	9,48	9,44	0,05	8,20
	2	9,38			
	3	9,46			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey para las diferencias de las medias para la Humedad (%) respecto al tiempo de almacenaje (h) de destilado de trigo.

Tiempo (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	3	10,5933	0,0757	(10,5248; 10,6619)
24	3	10,4700	0,0265	(10,4014; 10,5386)
48	3	10,3800	0,0265	(10,3114; 10,4486)
72	3	10,2800	0,0872	(10,2114; 10,3486)
96	3	10,2600	0,0173	(10,1914; 10,3286)
168	3	9,4400	0,0529	(9,3714; 9,5086)

*Desv.Est. agrupada = 0,0545181*

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma total en peso de las materias primas más utilizadas respecto a su tiempo máximo de almacenamiento con una base de cálculo de 1 000 kg (1 Tonelada).

Continuación apéndice 3.

<b>Materia prima</b>	<b>Merma (kg)</b>
Granillo de trigo	0,93 ± 0.10
Palmiste	5,87± 1.27
Salvadillo de trigo	6,26 ± 2,22
Soya	8,67 ± 0.36
Destilado de maíz	11,53 ± 0.27
Maíz	11,67 ±1,67

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma en el proceso de mezcla de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	1	1	12,36	11,40	9,64	0,41
		2	12,32	11,80		
		3	12,34	11,60		
	2	1	12,20	13,00		
		2	12,19	13,10		
		3	12,20	13,00		
	3	1	13,20	3,00		
		2	12,99	5,10		
		3	13,02	4,80		
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	1	1	13,33	1,70	1,84	0,23
		2	13,26	2,40		
		3	13,20	3,00		
	2	1	12,98	5,20		
		2	13,17	3,30		
		3	13,11	3,90		
	3	1	13,56	-0,60		
		2	13,60	-1,00		
		3	13,63	-1,30		

Continuación Merma en el proceso de mezcla de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

Continuación apéndice 3.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Pollo en etapa de inicio</b>	1	1	12,20	13,00	8,13	0,38
		2	12,35	11,50		
		3	12,12	13,80		
	2	1	12,84	6,60		
		2	12,64	8,60		
		3	12,96	5,40		
	3	1	12,93	5,70		
		2	12,97	5,30		
		3	13,17	3,30		
1	1	12,65	8,50			
	2	12,54	9,60			
	3	12,56	9,40			
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	2	1	11,97	15,30	11,98	0,24
		2	12,06	14,40		
		3	12,10	14,00		
	3	1	12,24	12,60		
		2	12,33	11,70		
		3	12,27	12,30		
<b>Ganado lechero</b>	1	1	13,42	0,80	2,58	0,21
		2	13,49	0,10		
		3	13,53	-0,30		
	2	1	12,96	5,40		
		2	13,02	4,80		
		3	13,01	4,90		
	3	1	13,31	1,90		
		2	13,18	3,20		
		3	13,26	2,40		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma en el proceso de molienda de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	1	1	12,16	3,40	0,87	0,55
		2	12,20	3,00		
		3	12,17	3,30		
	2	1	12,00	5,00		
		2	11,90	6,00		
		3	12,00	5,00		
	3	1	13,08	-5,80		
		2	13,13	-6,30		
		3	13,23	-7,30		
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	1	1	12,74	-2,40	-3,00	0,16
		2	12,86	-3,60		
		3	12,74	-2,40		
	2	1	12,68	-1,80		
		2	12,53	-0,30		
		3	12,72	-2,20		
	3	1	12,98	-4,80		
		2	13,00	-5,00		
		3	12,96	-4,60		
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	1	1	12,88	-3,80	-0,93	0,33
		2	12,84	-3,40		
		3	12,94	-4,40		
	2	1	12,16	3,40		
		2	12,15	3,50		
		3	12,24	2,60		
	3	1	12,74	-2,40		
		2	12,86	-3,60		
		3	12,74	-2,40		

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma en el proceso de molienda de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales

Alimento balanceado	Batch	Repetición	Humedad (%)	Merma (kg)	$\bar{X}$ Merma (kg)	s
Ganado lechero	1	1	13,20	-7,00	-4,83	0,26
		2	13,17	-6,70		
		3	13,11	-6,10		
	2	1	12,69	-1,90		
		2	12,62	-1,20		
		3	12,59	-0,90		
	3	1	13,06	-5,60		
		2	13,15	-6,50		
		3	13,12	-6,20		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Porcentaje de humedad de acondicionamiento de equipos de proceso de alimento balanceado para pollo en etapa de inicio

Batch	Equipo	Repetición	%Humedad	$\bar{X}$ por equipo	$\bar{X}$ de proceso
Batch 1	Pelletizadora 1	1	14,04	14,35	14,31
		2	14,64		
		3	14,36		
	Pelletizadora 2	1	14,34	14,27	
		2	14,24		
		3	14,23		
Batch 2	Pelletizadora 1	1	14,16	14,72	14,50
		2	14,95		
		3	15,04		
	Pelletizadora 2	1	14,26	14,28	
		2	14,35		
		3	14,22		

Continuación apéndice 3.

Continuación Porcentaje de humedad de acondicionamiento de equipos de proceso de alimento balanceado para pollo en etapa de inicio.

<b>Batch 3</b>	Pelletizadora 1	1	12,80	13,06	13,42
		2	13,25		
		3	13,14		
	Pelletizadora 2	1	13,77	13,77	
		2	13,84		
		3	13,70		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Porcentaje de humedad de acondicionamiento de alimento balanceado para pollo en etapa de engorde.

<b>Batch</b>	<b>Equipo</b>	<b>Repetición</b>	<b>%Humedad</b>	<b><math>\bar{X}</math> por equipo</b>	<b><math>\bar{X}</math> de proceso</b>
<b>Batch 1</b>	Pelletizadora 1	1	14,10	14,10	14,44
		2	14,00		
		3	14,20		
	Pelletizadora 2	1	14,96	14,77	
		2	14,80		
		3	14,55		
<b>Batch 2</b>	Pelletizadora 1	1	13,43	13,32	14,28
		2	13,28		
		3	13,26		
	Pelletizadora 2	1	15,20	15,23	
		2	15,26		
		3	15,24		
<b>Batch 3</b>	Pelletizadora 1	1	15,00	15,07	14,88
		2	15,07		
		3	15,15		
	Pelletizadora 2	1	14,70	14,68	
		2	14,60		
		3	14,74		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Porcentaje de humedad de peletizado de equipos de proceso de alimento balanceado para pollo en etapa de inicio.

<b>Batch</b>	<b>Equipo</b>	<b>Repetición</b>	<b>%Humedad</b>	<b><math>\bar{X}</math> por equipo</b>	<b><math>\bar{X}</math> de proceso</b>
<b>Batch 1</b>	Pelletizadora 1	1	12,70	12,78	12,73
		2	12,89		
		3	12,74		
	Pelletizadora 2	1	12,74	12,67	
		2	12,60		
		3	12,68		
<b>Batch 2</b>	Pelletizadora 1	1	13,26	13,16	13,29
		2	13,13		
		3	13,09		
	Pelletizadora 2	1	13,44	13,42	
		2	13,46		
		3	13,36		
<b>Batch 3</b>	Pelletizadora 1	1	12,58	12,61	13,07
		2	12,55		
		3	12,69		
	Pelletizadora 2	1	13,44	13,54	
		2	13,54		
		3	13,64		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Porcentaje de humedad de peletizado de equipos de proceso de alimento balanceado para pollo en etapa de inicio.

<b>Batch</b>	<b>Equipo</b>	<b>Repetición</b>	<b>%Humedad</b>	<b><math>\bar{X}</math> por equipo</b>	<b><math>\bar{X}</math> de proceso</b>
<b>Batch 1</b>	Pelletizadora 1	1	13,66	13,74	14,00
		2	13,80		
		3	13,76		
	Pelletizadora 2	1	14,26	14,26	
		2	14,34		
		3	14,18		
<b>Batch 2</b>	Pelletizadora 1	1	12,85	12,86	13,27
		2	12,84		
		3	12,88		
	Pelletizadora 2	1	13,63	13,68	
		2	13,68		
		3	13,74		
<b>Batch 3</b>	Pelletizadora 1	1	13,71	13,80	13,92
		2	13,74		
		3	13,96		
	Pelletizadora 2	1	14,06	14,03	
		2	14,00		
		3	14,02		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma en el proceso de acondicionamiento de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	1	1	14,68	8,20	8,47	0,38
		2	14,75	7,50		
		3	14,86	6,40		
	2	1	14,50	10,00		
		2	13,79	17,10		
		3	14,17	13,30		
	3	1	14,78	7,20		
		2	14,72	7,80		
		3	15,02	4,80		
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	1	1	15,62	-1,20	-1,57	0,29
		2	15,54	-0,40		
		3	15,70	-2,00		
	2	1	15,35	1,50		
		2	15,08	4,20		
		3	15,55	-0,50		
	3	1	16,00	-5,00		
		2	15,70	-2,00		
		3	15,99	-4,90		
<b>Pollo en etapa de inicio</b>	1	1	14,19	13,10	16,22	0,63
		2	14,44	10,60		
		3	14,30	12,05		
	2	1	14,16	13,40		
		2	14,95	5,50		
		3	15,04	4,60		
	3	1	13,29	22,15		
		2	13,55	19,55		
		3	13,42	20,80		

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma en el proceso de acondicionamiento de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	1	1	14,53	9,70	8,32	0,44
		2	14,40	11,00		
		3	14,38	11,25		
	2	1	14,32	11,85		
		2	14,27	12,30		
		3	14,25	12,50		
	3	1	15,16	3,40		
		2	15,11	3,90		
		3	15,35	1,50		
<b>Ganado lechero</b>	1	1	15,30	2,00	4,07	0,22
		2	15,34	1,60		
		3	15,35	1,50		
	2	1	14,85	6,50		
		2	14,84	6,65		
		3	14,95	5,55		
	3	1	15,13	3,70		
		2	15,15	3,50		
		3	14,81	6,90		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma en el proceso de peletizado de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

Alimento balanceado	Batch	Repetición	Humedad (%)	Merma (kg)	$\bar{X}$ Merma (kg)	s
Cerdos en etapa de desarrollo	1	1	13,84	6,60	6,73	0,22
		2	13,94	5,60		
		3	14,19	3,10		
	2	1	13,82	6,80		
		2	13,70	8,00		
		3	13,46	10,40		
	3	1	13,82	6,80		
		2	14,08	4,20		
		3	14,06	4,40		
Cerdos en etapa de finalización	1	1	14,88	-3,80	-2,73	0,14
		2	14,68	-1,80		
		3	14,49	0,10		
	2	1	14,71	-2,10		
		2	14,70	-2,00		
		3	14,56	-0,60		
	3	1	14,73	-2,30		
		2	14,70	-2,00		
		3	14,93	-4,30		
Pollo en etapa de inicio	1	1	12,72	17,80	14,43	0,30
		2	12,75	17,55		
		3	12,71	17,90		
	2	1	13,44	10,60		
		2	13,46	10,40		
		3	13,36	11,40		
	3	1	13,01	14,90		
		2	13,05	14,55		
		3	13,17	13,35		

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma en el proceso de peletizado de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b><math>\bar{X}</math> Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	1	1	13,20	13,00	10,58	0,34
		2	13,20	13,00		
		3	13,22	12,80		
	2	1	13,24	12,60		
		2	13,26	12,40		
		3	13,31	11,90		
	3	1	13,89	6,15		
		2	13,87	6,30		
		3	13,99	5,10		
<b>Ganado lechero</b>	1	1	14,58	-0,80	2,80	0,33
		2	14,52	-0,20		
		3	14,65	-1,50		
	2	1	14,38	1,20		
		2	14,37	1,30		
		3	14,48	0,20		
	3	1	13,70	8,00		
		2	13,92	5,80		
		3	14,04	4,60		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma en el proceso de enfriado de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>X Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	1	1	12,42	0,80	2,87	0,37
		2	12,36	1,40		
		3	12,29	2,10		
	2	1	11,61	8,90		
		2	11,82	6,80		
		3	11,82	6,80		
	3	1	12,61	-1,10		
		2	12,54	-0,40		
		3	12,52	-0,20		
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	1	1	12,6	-1,00	-0,07	0,21
		2	13,04	-5,40		
		3	12,76	-2,60		
	2	1	12,5	0,00		
		2	12,32	1,80		
		3	12,6	-1,00		
	3	1	12,42	0,80		
		2	12,55	-0,50		
		3	12,52	-0,20		
<b>Pollo en etapa de inicio</b>	1	1	11,26	12,40	10,40	0,21
		2	11,23	12,70		
		3	11,32	11,80		
	2	1	11,58	9,20		
		2	11,02	14,80		
		3	11,26	12,40		
	3	1	11,54	9,60		
		2	11,56	9,40		
		3	11,62	8,80		

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma en el proceso de enfriado de cinco fórmulas de alimentos balanceados para animales.

<b>Alimento balanceado</b>	<b>Batch</b>	<b>Repetición</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>X Merma (kg)</b>	<b>s</b>
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	1	1	11,78	7,20	9,00	0,17
		2	11,86	6,40		
		3	11,73	7,70		
	2	1	11,36	11,40		
		2	11,68	8,20		
		3	11,62	8,80		
	3	1	11,66	8,40		
		2	11,76	7,40		
		3	11,4	11,00		
<b>Ganado lechero</b>	1	1	13,09	-5,90	-3,10	0,43
		2	12,97	-4,70		
		3	12,81	-3,10		
	2	1	12,36	1,40		
		2	12,14	3,60		
		3	12,12	3,80		
	3	1	12,98	-4,80		
		2	13,08	-5,80		
		3	13,2	-7,00		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Continuación apéndice 3.

Merma en peso por variación de humedad en las distintas fórmulas de alimentos balanceados para animales con una base de 1 000 kg de producto terminado (1 Tonelada) respecto a la comparación de humedad porcentual de producto terminado y humedad óptima de producto terminado.

<b>Alimento Balanceado</b>	<b>Merma (kg)</b>
Cerdos en etapa de desarrollo	2,79
Cerdos en etapa de finalización	-0,90
Pollo en etapa de inicio	11,23
Pollo en etapa de engorde	8,50
Ganado lechero	-2,50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma en peso por variación de humedad en las distintas operaciones de alimentos balanceados para animales con una base de 1 000 kg de producto terminado (1 Ton) respecto humedad óptima de cada operación.

<b>Merma (kg)</b>					
<b>Alimento balanceado</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Molienda</b>	<b>Acondicionado</b>	<b>Pelletizado</b>	<b>Enfriado</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	9,64	0,87	8,47	6,73	2,87
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	1,84	-3,00	-1,57	-2,73	-0,07
<b>Pollo en etapa de inicio</b>	8,13		16,22	14,43	10,40
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	11,98	0,93	8,32	10,58	9,00

Continuación apéndice 3.

Continuación Merma en peso por variación de humedad en las distintas operaciones de alimentos balanceados para animales con una base de 1 000 kg de producto terminado (1 Ton) respecto humedad óptima de cada operación.

<b>Ganado Lechero</b>	2,58	-4,83	4,07	2,80	-3,10
$\bar{X}$	6,83	-1,51	7,10	6,36	3,82
$\bar{X}$ acumulativa	---	5,33	5,59	13,46	10,18

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Merma producida individualmente en cada proceso de producción de alimentos balanceados para animales.

<b>Proceso</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Molienda</b>	<b>Acondicionamiento</b>	<b>Peletizado</b>	<b>Enfriamiento</b>
<b>Alimento balanceado</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>
<b>Cerdos en etapa de desarrollo</b>	6,40	-3,00	4,80	-1,60	-5,80
	6,80	-3,80	4,50	-1,90	-4,20
	6,60	-3,30	3,10	-3,30	-1,00
	8,00	-3,00	5,00	-3,20	2,10
	8,10	-2,10	11,10	-9,10	-1,20
	8,00	-3,00	8,30	-2,90	-3,60
	-2,00	-3,80	13,00	-0,40	-7,90
	0,10	-6,40	14,10	-3,60	-4,60
	-0,20	-7,10	12,10	-0,40	-4,60
<b>Cerdos en etapa de finalización</b>	-3,30	0,90	1,20	-2,60	2,80
	-2,60	-1,00	3,20	-1,40	-3,60
	-2,00	-0,40	0,40	2,10	-2,70
	0,20	-2,00	3,30	-3,60	2,10
	-1,70	1,40	4,50	-6,20	3,80
	-1,10	-1,10	1,70	-0,10	-0,40

Continuación apéndice 3.

	-5,60	0,80	-0,20	2,70	3,10
	-6,00	1,00	3,00	0,00	1,50
	-6,30	1,70	-0,30	0,60	4,10

Continuación Merma producida individualmente en cada proceso de producción de alimentos balanceados para animales.

<b>Pollo en etapa de inicio</b>	8,00		13,10	4,70	-5,40
	6,50		10,60	6,95	-4,85
	8,80		12,05	5,85	-6,10
	1,60		13,40	-2,80	-1,40
	3,60		5,50	4,90	4,40
	0,40		4,60	6,80	1,00
	0,70		22,15	-7,25	-5,30
	0,30		19,55	-5,00	-5,15
	-1,70		20,80	-7,45	-4,55

Continuación apéndice 3.

Resumen de merma en cada etapa de proceso de alimentos balanceados para animales.

<b>Proceso</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Molienda</b>	<b>Acondicionamiento</b>	<b>Peletizado</b>	<b>Enfriamiento</b>
<b>Alimento balanceado</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>
<b>Pollo en etapa de engorde</b>	3,50	-7,30	13,50	3,30	-5,80
	4,60	-8,00	14,40	2,00	-6,60
	4,40	-8,80	15,65	1,55	-5,10
	10,30	-6,90	8,45	0,75	-1,20
	9,40	-5,90	8,80	0,10	-4,20
	9,00	-6,40	9,90	-0,60	-3,10
	7,60	-10,00	5,80	2,75	2,25
	6,70	-10,30	7,50	2,40	1,10
	7,30	-9,70	3,90	3,60	5,90
<b>Ganado lechero</b>	-4,20	-2,80	9,00	-2,80	-5,10
	-4,90	-1,80	8,30	-1,80	-4,50
	-5,30	-0,80	7,60	-3,00	-1,60
	0,40	-2,30	8,40	-5,30	0,20
	-0,20	-1,00	7,85	-5,35	2,30
	-0,10	-0,80	6,45	-5,35	3,60
	-3,10	-2,50	9,30	4,30	-12,80
	-1,80	-4,70	10,00	2,30	-11,60
	-2,60	-3,60	13,10	-2,30	-11,60
<b>Promedio</b>	<b>1,84</b>	<b>-3,55</b>	<b>8,50</b>	<b>-0,70</b>	<b>-2,34</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

## ANEXO

### Anexo 1. **Procedimiento análisis de merma por pérdida de humedad**

- Descripción: 1. Muestras de alimento balanceado para cerdo en etapa de desarrollo (De izquierda a derecha: mezcla y molienda). 2. Muestras de alimento balanceados para pollo en etapa de engorde en proceso (De izquierda a derecha: acondicionado, peletizado molido y producto enfriado).



Continuación del anexo 1.

- Descripción: 1. Molino para muestras (Proceso). 2. Muestra molida de alimento balanceado para cerdo en etapa de desarrollo.



Continuación del anexo 1.

- Descripción: Tamizador de muestras con tamices para separar distintos tamaños de partículas de las muestras.



Continuación del anexo 1.

- Descripción: 1. Termobalanza utilizada para obtener la humedad de muestras 2. Muestra de alimento balanceado para pollo en etapa de engorde en termobalanza.



Continuación del anexo 1.

- Descripción: Determinador de humedad de materia prima en grano GAC 2500-INTL (Para maíz y soya).



Fuente: Laboratorio de inspección de calidad de empresa de fabricación de alimentos balanceados para animales.

