

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS PARA EL
CONTROL DE LA MERMA EN UNA PLANTA DE BENEFICIO DE GANADO BOVINO Y
BUFALINO

LAURA MICHELLE DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ
JONATHAN GIRALDO GALLEGU

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2018

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS PARA EL
CONTROL DE LA MERMA EN UNA PLANTA DE BENEFICIO DE GANADO BOVINO Y
BUFALINO

LAURA MICHELLE DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ
JONATHAN GIRALDO GALLEGU

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR
Juan Carlos Peña Orozco
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Guadalajara de Buga, 2018

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, a quien sin su acompañamiento a lo largo del camino nada se haría realidad.

A mis Padres José Eliut Domínguez y Diana Milena Rodríguez por ser mi mayor motivación para alcanzar cada uno de mis objetivos, su orgullo será siempre mi mayor logro...

Laura Michelle Domínguez

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien logra hacer todo posible.

A mi madre María Teresa Gallego por ser mi motor, la persona que cree siempre en mí y por estar conmigo en cualquier adversidad.

Jonathan Giraldo

AGRADECIMENTOS

Agradezco a Dios por nunca dejarme desfallecer en los momentos difíciles.

Agradezco a mis padres por su incondicional amor, su apoyo, su paciencia, su constante lucha por mi bienestar y por inculcarme siempre a crecer íntegramente.

Agradezco a mis hermanos Johan y Leidy por su confianza y cariño, manteniendo juntos el mismo objetivo de enorgullecer a nuestros amados padres.

Agradezco a mis amigos Jonathan, Valeria y Nathalia por hacer el camino más agradable y compartir tantas risas y experiencias.

Agradezco a quien me brinda paz y alegría, cree en mí y me incluye como parte de su vida en el presente y futuro.

Laura Michelle Domínguez

Quiero agradecer a cada persona que aportó su grano de arena:

Gracias a mi Madre, por lograr ver siempre lo mejor de mí. Ha sido mi mayor inspiración en cada momento de mi vida. Gracias por todo tu amor.

Gracias a mi familia, por estar conmigo en los momentos más difíciles en los que no parecía haber salida, especialmente a mi hermana de corazón Leidy y su familia por demostrarme su apoyo incondicional.

Gracias a cada uno de los docentes que marcaron mi estadía académica que con su paciencia, experiencia y don de enseñar se dedican a construir el futuro.

Gracias a mi director Juan Carlos Peña por su apoyo, comprensión, dedicación y ser guía durante este camino.

Gracias a mis compañeras Alejandra, Laura, Nathalia y Valeria, que se convirtieron en grandes amigas, y fueron un gran apoyo durante este camino.

Jonathan Giraldo Gallego

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. Descripción del problema	13
1.2. Pregunta de investigación.....	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1. Concepto de calidad	18
4.2. Control Estadístico de procesos	18
4.2.1 Cartas o gráficos de control.....	21
4.2.2 Histograma	24
4.2.3 Diagrama de Pareto.....	25
4.2.4 Lluvia de ideas.....	27
4.2.5 Diagrama de Ishikawa	27
4.2.6 Capacidad de procesos	28
4.3 Variabilidad.....	30
4.4 Seis Sigma	31
4.5 Análisis de Regresión y Correlación	32
4.5.1 Regresión Lineal.....	33
4.5.2 Coeficiente de correlación	35
4.5.3 Coeficiente de determinación	36
4.5.4 Regresión Parabólica	37
4.5.5 Regresión Exponencial.....	37
4.5.6 Regresión y Correlación Múltiple	38
4.6 Prueba de Bondad de Ajuste	38
4.6.1 Prueba de Kolmogorov-Smirnov	39

4.6.2	Prueba de Lilliefors	39
4.6.3	Prueba de Shapiro Wilk.	39
4.6.4	Prueba de Anderson Darling.....	40
4.6.5	Prueba de gráficos.....	40
4.7	Software R.....	40
5.	METODOLOGÍA.....	42
5.1	Tipo de investigación.....	42
5.2	Recolección de la información	42
5.3	Análisis de la información	43
5.4	Fases del desarrollo del trabajo	43
6.	CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO	45
6.1	Descripción del proceso de sacrificio y beneficio	46
6.2	Descripción de la canal.....	50
7.	SITUACIÓN ACTUAL	51
7.1.	Validación de datos.	51
7.2.	Variables del proceso	53
7.2.1.	Temperatura final de la canal	54
7.2.2.	Tiempo de refrigeración.....	54
7.2.3.	Rendimiento de la canal	55
7.2.4.	Cantidad de almacenamiento	56
7.2.5.	Cuartos de almacenamiento	56
7.2.6.	Tipo de animal.....	57
8.	ANÁLISIS DE DATOS Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES INFLUYENTES.....	59
8.1.	Análisis de datos.	59
8.1.1.	Merma en relación a la temperatura final de la canal:.....	63
8.1.2.	Merma en relación al tiempo de refrigeración.	66
8.1.3.	Merma en relación al rendimiento.....	67
8.1.4.	Merma en relación a cantidad de almacenamiento:.....	68
8.1.5.	Merma en relación al cuarto de almacenamiento.....	70
8.1.6.	Merma en relación a Tipo de animal.....	73
8.2.	Clasificación de las variables influyentes.....	76
9.	SISTEMA DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y CONTROL	78

9.1.	Recolección de la información	78
9.2.	Análisis de datos	80
9.3.	Monitoreo de las variables	82
9.4.	Procedimiento para el monitoreo de variables	86
9.4.1.	Identificación.....	86
9.4.2.	Orientación a las acciones correctivas.....	87
10.	CONCLUSIONES	90
11.	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	ANEXOS.....	96

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN I. PARADIGMA FUNDAMENTAL DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS	19
ILUSTRACIÓN II. FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD	20
ILUSTRACIÓN III. GRÁFICO DE CONTROL.	21
ILUSTRACIÓN IV. EJEMPLO HISTOGRAMA	25
ILUSTRACIÓN V. EJEMPLO DIAGRAMA DE PARETO.	27
ILUSTRACIÓN VI. DIAGRAMA DE ISHIKAWA.	28
ILUSTRACIÓN VII. GRÁFICO DE DISPERSIÓN.	34
ILUSTRACIÓN VIII. COMPORTAMIENTO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	35
ILUSTRACIÓN IX. CARACTERIZACIÓN SECTOR CÁRNICO.....	45
ILUSTRACIÓN X. SACRIFICIOS TOTALES POR CLIENTE.	53
ILUSTRACIÓN XI. CANTIDAD DE ALMACENAMIENTO TOTAL POR CUARTO.	57
ILUSTRACIÓN XII. CANTIDAD DE CANALES POR RAZA Y SEXO	58
ILUSTRACIÓN XIII. DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO.....	59
ILUSTRACIÓN XIV. DISTRIBUCIÓN DE DATOS DE MERMA.....	60
ILUSTRACIÓN XV. PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA CORRESPONDIENTE VS DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE LA MERMA.....	62
ILUSTRACIÓN XVI. MERMA EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA FINAL DE LA CANAL.....	64
ILUSTRACIÓN XVII. MERMA EN RELACIÓN AL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN.....	66
ILUSTRACIÓN XVIII. MERMA EN RELACIÓN AL RENDIMIENTO DE LA CANAL.....	68
ILUSTRACIÓN XIX. MERMA EN RELACIÓN A CANTIDAD DE ALMACENAMIENTO.....	69
ILUSTRACIÓN XX. HISTOGRAMA DE CUARTOS INDIVIDUALES	71
ILUSTRACIÓN XXI. MERMA EN RELACIÓN AL TIEMPO POR CUARTO.	72
ILUSTRACIÓN XXII. HISTOGRAMAS PARA CADA TIPO.....	74
ILUSTRACIÓN XXIII. MERMA EN RELACIÓN AL TIEMPO PARA CADA TIPO DE ANIMAL.	75
ILUSTRACIÓN XXIV. ESQUEMA DE MUESTREO DE LA TEMPERATURA.....	81
ILUSTRACIÓN XXV. ESQUEMA PARA RECONOCER PROCESO BAJO CONTROL	86
ILUSTRACIÓN XXVI. FORMATO ESTUDIO DE ANOMALÍAS	88

INDICE DE TABLAS

TABLA I. RELACIÓN DE VARIABLES.....	33
TABLA II. PARTICIPACIÓN POR CLIENTE EN SACRIFICIOS TOTALES.	52
TABLA III. MEDIDAS DESCRIPTIVAS DE LA DISTRIBUCIÓN.	60
TABLA IV. RESULTADOS PRUEBAS BONDAD DE AJUSTE.....	61
TABLA V. PRUEBAS BONDAD DE AJUSTE DE DISTRIBUCIONES ALTERNATIVAS.	63
TABLA VI. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN POR INTERVALOS	65
TABLA VII. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA CUARTOS DE ALMACENAMIENTO	71
TABLA VIII. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN POR CUARTO.....	72
TABLA IX. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA CADA TIPO DE ANIMAL.	73
TABLA X. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE TIPO.	75
TABLA XI. RESUMEN DE VARIABLES.	76
TABLA XII. CLASIFICACIÓN VARIABLE INFLUYENTES.....	77
TABLA XIII. ESTRUCTURA DE PESTAÑAS DE LA HERRAMIENTA DE MEDICIÓN.	78
TABLA XIV. CAMPO DESTINADO PARA INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD.	79
TABLA XV. CAMPO DESTINADO PARA LAS VARIABLES MERMA Y TIEMPO DE REFRIGERACIÓN ...	80
TABLA XVI. CAMPO DESTINADO PARA EL REGISTRO DE LAS TEMPERATURAS.....	81
TABLA XVII. CAMPO DESTINADO AL INVENTARIO DE LAS CANALES.	82

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I .FACTORES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CARTAS DE CONTROL	96
ANEXO II. FORMATO CONTROL DE MERMA Y TIEMPO.....	95
ANEXO III. FORMATO CONTROL TEMPERATURA	96
ANEXO IV. FORMATO DE CONTROL CANTIDAD DE ALMACENAMIENTO.....	97

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen muchas herramientas que pueden ser utilizadas para realizar la medición, seguimiento, análisis y mejora de los procesos. Sin embargo, una de las principales es el uso de técnicas estadísticas que se han implementado a lo largo de los años, mejorando todo sistema productivo, además de permitir la obtención de productos más competitivos.

En la industria alimenticia, específicamente en el procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, siendo productos perecederos, su naturaleza orgánica los hace susceptibles a alteraciones fáciles de desarrollarse con el tiempo si no existen las condiciones favorables que permitan garantizar la calidad de los productos. Es por esto que los productos cárnicos se deben someter a procedimientos que permitan mantener las condiciones y características propias para su máximo aprovechamiento nutritivo y comercial.

La existencia de problemáticas dentro de los procesos de producción como la generación de la merma, aunque es algo inevitable para cualquier organización dedicada al aprovechamiento de productos alimenticios, deriva un gran interés por parte de estas empresas para lograr que esta característica del producto final esté en un rango de variabilidad estipulado, con el fin de asegurar el desempeño del proceso que influye directamente sobre la satisfacción del cliente.

El estudio comprende el diseño de una propuesta de un sistema de medición y análisis para contribuir al control de la variabilidad de la merma en una planta de sacrificio y beneficio de ganado bovino y bufalino. Se concentrará en el proceso productivo para establecer los factores que determinan el comportamiento de esta variable y que permiten incidir sobre la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones, lo cual implica conocer el proceso, establecer herramientas para su medición y monitoreo, también los mecanismos para su mejoramiento, buscando que la planta logre ser más competitiva.

Se pretende contribuir a mejorar el desempeño del proceso productivo de la planta, mediante la formulación de técnicas y herramientas estadísticas de calidad y control de procesos, que faciliten la identificación de las causas asignables que afecten la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones de la merma, facilitando la generación de soluciones para mejorar el desempeño del proceso de beneficio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el ámbito mundial las empresas están enfrentándose a la globalización, y al reto de las constantes mejoras de los procesos industriales. Como contraparte a lo mencionado se encuentran los consumidores, quienes cada día son más exigentes, y por ello las empresas manufactureras se han visto en la necesidad de planificarse y distribuir las exigencias del consumidor. Esto establece un gran reto para las empresas, quienes deben buscar estrategias que faciliten y aumenten la efectividad de los procesos ofreciendo alternativas que permitan el crecimiento, desarrollo y la adecuación a los cambios impuestos por el sistema. Es por ello que las grandes empresas tienen preconcebida como base, la mejora continua de los procesos de producción.

El procesamiento conducente a la obtención de alimentos para el consumo humano es una ardua tarea para las empresas encargadas de dicho proceso. Con respecto al sector ganadero, en la economía colombiana logra aportar el 1,4% del PIB nacional, a pesar de su decrecimiento en la última década, merece especial atención ya que se trata de convertir la materia prima (ganado) en carne para consumo, minimizando las pérdidas de peso inherentes al proceso a un valor razonable dentro de los parámetros establecidos y obteniendo beneficios que garantice su sostenibilidad en periodos futuros.

Frigorivalle S.A.S es una planta de nivel nacional que brinda el servicio de faenamiento de ganado bovino y bufalino. Su proceso de producción está compuesto por diferentes etapas, desde el sacrificio del ganado en pie, hasta el retiro de la totalidad de las vísceras torácicas y abdominales del animal de abastos, que es el producto final denominado canal. Aunque es inevitable que en este tipo de procesos se presente una reducción en el peso la carne, conocida como merma, es muy importante que la empresa logre asegurar la capacidad del proceso para cumplir las especificaciones en lo referente a este indicador, lo cual implica mantenerlo entre los límites establecidos y controlar la excesiva variabilidad que este presenta actualmente.

La planta es prestadora del servicio de sacrificio de reses y búfalos, procesamiento y conservación de las carnes. Los clientes se encargan de contactar y realizar el transporte del ganado hasta la empresa. Una vez llegan los animales, se descargan a través de rampas hacia los corrales en donde permanecen de doce a veinticuatro horas esperando su faena. Hasta ahora, los encargados del proceso no han reportado inconvenientes con el ganado en pie, por lo que se considera que el problema radica en el proceso productivo.

Actualmente, se maneja un promedio de 150 sacrificios diarios entre ganado bovino y bufalino. La planta de producción opera doce horas al día durante seis días a la semana (lunes a sábado), sin embargo, la etapa de refrigerado debe ser continua y sin interrupciones para la conservación del producto. Por otra parte, las instalaciones de la planta cuentan con cinco cuartos de refrigerado, los cuales, tres de ellos son los de almacenamiento para las canales, estos están desde la constitución de la empresa y podrían presentar disparidad por las condiciones de funcionamiento dadas, a diferencia de los dos cuartos de refrigerado que han sido incluidos en los últimos años con una mayor tecnología y eficiencia, utilizados para el área de desposte de la empresa.

La etapa de refrigeración se convierte por ende en un aspecto clave para el análisis de la problemática planteada. Los factores que influyen en esta etapa son el control y conservación de la temperatura en el refrigerado, la distribución de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento. Por lo tanto, se deben analizar estos factores para entender cómo influyen con respecto a la merma y mantener el proceso dentro unos parámetros que puedan cumplir con los porcentajes de merma.

Así mismo, la empresa no cuenta con políticas de almacenamiento de refrigeración para sus productos, ya que se realiza de manera empírica sin tener en cuenta los canales fríos combinados con canales calientes en un mismo cuarto de refrigerado, ni la cantidad de canales por cuarto que permita el mejor aprovechamiento de la temperatura, puesto que al almacenar una poca cantidad de canales se genera una deshidratación más acelerada lo cual conlleva a un cambio en su coloración. De igual manera, la aglomeración de producto puede ocasionar la rápida descomposición del mismo, debido a que no se logra una distribución uniforme de la temperatura entre la parte interna y externa de la canal.

El tiempo de almacenamiento es una variable cuyo alcance de control está limitado por la disposición del cliente y las fechas de entrega acordadas. Además,

cada producto debe estar plenamente identificado durante todo el proceso hasta su entrega final, por lo que se debe manejar una trazabilidad que garantice al cliente la entrega del beneficio proveniente del ganado en pie que se entregó inicialmente, por esta razón no se puede implementar un sistema PEPS (Primeras en Entrar, Primeras en Salir) para el almacenaje, el cual resulta ser el sistema idóneo para productos perecederos.

La temperatura es un factor que puede variar con respecto a cada lote de canales, pues los tres cuartos de almacenamiento con los que se cuenta para la conservación de temperatura requieren diferentes condiciones de manejo de acuerdo a la necesidad para el cumplimiento de entregas. Además, la entrada de canales a los cuartos se realiza de forma indiscriminada, es decir, sin ningún criterio.

El jefe del área de producción considera que la variabilidad de la merma afecta el carácter de confiabilidad del cliente, pues la empresa espera poder garantizarle a éste una merma inferior al 2%, lo cual según este funcionario no se ha venido cumpliendo a cabalidad dado que los valores oscilan aproximadamente entre 0,4% hasta 3,5%.

En el proceso de tratado de beneficio de los bovinos y búfalos, esta disminución en los pesajes finales que se realizan para verificar que las especificaciones sean conforme a las establecidas desde el principio del acuerdo de entrega del producto (canal) al cliente, no se han podido controlar por parte del frigorífico, esto impide garantizar al cliente el cumplimiento con lo acordado. La empresa reconoce la necesidad de mejorar el indicador de merma y de intervenir y realizar un seguimiento a los factores que influyen en la variabilidad de la merma.

1.2. Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores que influyen en la variabilidad de la merma y como se les puede hacer seguimiento y control a estas?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de medición y análisis de procesos para el control de la merma en una planta de beneficio de ganado bovino y bufalino que contribuya a mejorar las especificaciones de merma.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso de faenamiento actual identificando los puntos críticos directamente relacionados con los factores que influyen en el comportamiento de la merma.
- Identificar las variables más influyentes en el comportamiento de la merma, y las técnicas y herramientas para su medición, monitores y análisis que posibiliten mejorar la variabilidad de los porcentajes de merma para el caso de estudio.
- Establecer la estructura para la medición, análisis y control de las variables del proceso que influyen sobre la merma y que servirá para mejorar su capacidad para cumplir con las especificaciones.

3. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, la carne es considerada como uno de los alimentos primordiales en la dieta (ICBF, 2015). Por lo tanto, la industria ganadera se encuentra en una constante búsqueda de alternativas para mejorar continuamente en el entorno competitivo en el que se encuentran inmersas las compañías dedicadas a esta actividad, con lo cual se crea la necesidad de apoyar su estructura operativa mediante nuevas formas de funcionamiento, para garantizar óptimas condiciones para el desarrollo de sus operaciones.

Diversos aspectos productivos determinan el mayor o menor valor del beneficio del ganado percibido por el propietario, entre ellos, la merma como uno de los aspectos más importantes al momento de evaluar la satisfacción del cliente y la eficiencia de la cadena productiva. Por esta razón, Frigorivalle S.A.S ha mostrado un interés en el análisis de esta variable en su proceso, con el fin de buscar alternativas que permitan que permitan ajustarla a los estándares establecidos en la industria.

Teniendo en cuenta que la merma durante el procesamiento se debe principalmente a los sistemas de manejo y almacenamiento que se practican, resultan insuficientes los estudios realizados aplicados a este problema muy común en plantas de beneficio animal y que impacta en su eficiencia. Debido a esto, se debe diseñar una metodología acorde a las características específicas para cada industria que permita identificar los factores que contribuyan a solucionar la variabilidad.

Aquí radica la gran importancia de utilizar sistemas para la medición, seguimiento y control de las variables que influyen sobre la merma en los procesos de beneficio del ganado para conocer el estado en el que se encuentra la empresa en términos de desempeño de su producción. El área técnica de la empresa garantiza la creación de valor para el cliente, pues es donde se transforman los recursos, en este caso el animal en pie por un producto para el consumo humano. Es también por esto, que este trabajo resulta de gran importancia, porque promete identificar los factores influyentes que se encuentran en el proceso, y proponer un sistema para su medición, análisis y control que sirva de base para orientar las acciones orientadas a mitigar la variabilidad de la merma con el fin de favorecer los resultados esperados, contribuyendo a la solución del problema de las mermas en un caso específico de una empresa de la ciudad.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Concepto de calidad

Para Shewhart (1931), uno de los pioneros del control estadístico de procesos, existen dos aspectos claves e independientes en la consideración de la calidad de un producto: un aspecto objetivo, que resulta de la medición de características físicas, y un aspecto subjetivo, relacionado con las expectativas de las personas. Este autor reconoce la importancia de este estado subjetivo desde un punto de vista comercial, su trabajo se centró en el establecimiento de estándares de calidad de forma cuantitativa y objetiva. Por otro lado, Deming (1986), además de analizar la calidad desde un punto de vista subjetivo, considera que este atributo no es estático, sino que cambia a lo largo del tiempo, adaptándose a nuevas expectativas de los consumidores, por lo que afirma que “La calidad puede ser medida solo en término de los consumidores”.

La norma de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), quien es la mayor entidad encargada de los estándares de calidad a nivel mundial, con presencia en 161 países, define calidad como:

“El conjunto de características conjuntas de una entidad que le otorgan la capacidad de satisfacer las necesidades de un usuario”, o bien según Joseph Juran: “Calidad es adecuación al uso del cliente”

Desde una perspectiva guiada a la producción se define como: la conformidad en el producto, el cual este, cumple con las especificaciones iniciales y que con estas se encontrará la satisfacción en el usuario, cumpliendo sus expectativas, siendo así controlado por reglas que garanticen la calidad del mismo.

4.2 Control Estadístico de procesos

El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para mantener la variabilidad dentro de unos límites deseables. Dado que su aplicación es en el

momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando “el pulso” de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo. (Montgomery, 2010)

Su filosofía se fundamenta en el uso metodológico de una serie de herramientas estadísticas que permiten vigilar el proceso a través de la supervisión constante de las variables de proceso Y de producto. Dichas herramientas permiten determinar y eliminar las variaciones que no son propias del sistema y que causan un efecto importante en las características finales de un producto.

En el control estadístico del proceso se realiza la inspección en el momento en que se produce el bien o servicio, para obtener información acerca del cumplimiento de los estándares en cada etapa del proceso productivo y medir cuantitativamente la repercusión que tienen nuevas variables sobre el desempeño del proceso.

La base sólida del control estadístico es la recopilación, ordenamiento y análisis de datos para lo cual hace uso de herramientas como diagramas de frecuencia, causalidad y control, que permiten determinar si el comportamiento de las variables se mantiene en un margen de aceptación de calidad e identificar las causas no aleatorias de la variabilidad.

Ilustración I. Paradigma fundamental del control estadístico de procesos

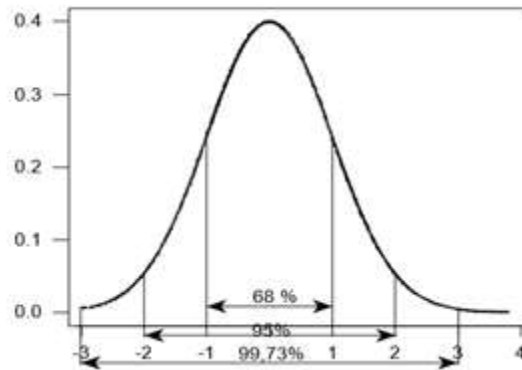


Fuente: Thompson & Koronacki (2002)

Dentro de la teoría de la calidad, las ciencias exactas como la estadística han jugado un rol fundamental en la detección, explicación, corrección, prevención y predicción de las causas de variabilidad en el sistema productivo, a partir del análisis de los datos reales obtenidos del desarrollo habitual de sus procesos, mediante la utilización de herramientas de estadística descriptiva y multivariada, diagramas de frecuencia y control, modelos de muestreo, entre otros.

Los métodos o técnicas utilizadas en el control estadístico de procesos son principalmente basados en cálculos de probabilidades y por consecuencia se utilizan modelos matemáticos para la solución de los mismos.

Ilustración II. Función densidad de probabilidad



Fuente: Montgomery (2010)

La distribución normal es desde luego la función de densidad de probabilidad “estrella” en estadística. Depende de dos parámetros μ y σ , que son la media y la desviación típica respectivamente. Tiene una forma acampanada (de ahí su nombre) y es simétrica respecto a μ . Llevando múltiplos de σ a ambos lados de μ , nos encontramos con que el 68% de la población está contenido en un entorno $\pm 1\sigma$ alrededor de μ , el 95% de la población está contenido en un entorno $\pm 2\sigma$ alrededor de μ y que el 99,73% está comprendido en $\pm 3\sigma$ alrededor de μ .

Si el proceso está operando de manera que existen pequeñas oscilaciones de todos estos factores, pero de modo que ninguno de ellos tiene un efecto preponderante frente a los demás, entonces se espera que la característica de calidad del producto fabricado se distribuya de manera normal. Al conjunto de esta multitud de factores se denominan causas comunes. Por el contrario, si circunstancialmente incide un factor con un efecto relevante, entonces la característica de calidad no seguirá una distribución normal y se dice que está presente una causa especial o assignable.

Cabe resaltar que el Control Estadístico de Procesos puede aplicarse a cualquier proceso. Sus principales herramientas son: el histograma, hoja de verificación, gráfica de Pareto, diagrama de causa y efecto, diagrama de concentración de

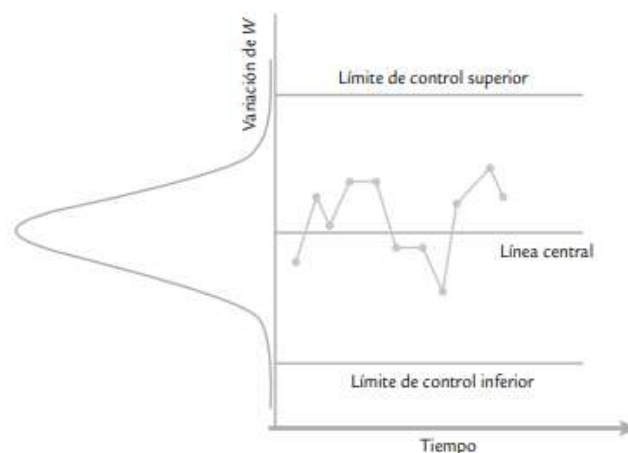
defectos, diagrama de dispersión y la carta de control. La enseñanza de las herramientas anteriores para resolver problemas debe hacerse para que toda la organización las conozca, haciendo uso rutinario para identificar las posibles oportunidades de mejora que logren ayudar a eliminar el desperdicio para reducir la variabilidad.

4.2.1 Cartas o gráficos de control.

Son una importante herramienta utilizada en control de calidad de procesos. Básicamente, una carta de control es un gráfico en el cual se representan los valores de algún tipo de medición realizada a una variable durante el funcionamiento de un proceso continuo, y que sirve para controlar las causas especiales que dentro de un sistema productivo generan una desviación típica y anormal del parámetro analizado. Los gráficos fueron diseñados para medir y reducir la variabilidad de un sistema; fueron creados alrededor de 1924 por Walter Shewhart, como resultado de sus trabajos en laboratorios Bell.

El objetivo de este tipo de análisis es controlar los procesos para asegurarse de que funcionan correctamente. Si la gran mayoría de los puntos mostrados de la gráfica están dentro de los límites, se considera que el proceso está controlado. En el momento en el que uno o varios puntos se encuentran fuera de los límites establecidos o no representan una distribución estadística gaussiana, se considera que el proceso está descontrolado y comienza la búsqueda de la causa de su mal funcionamiento.

Ilustración III. Gráfico de Control.



Fuente: Gutierrez (2009)

Los límites de control, inferior y superior, definen el inicio y final del rango de variación del proceso en estudio, de forma que cuando el proceso está en control estadístico existe una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores del proceso caigan dentro de los límites.

Es importante tener en cuenta que estos límites no representan las especificaciones, tolerancias o deseos para el proceso. Por el contrario, se calculan a partir de la variación de los datos recopilados. De esta forma, la clave está en establecer los límites adecuados para cubrir cierto porcentaje de la variación natural del proceso.

Un modelo general para las cartas de control está dado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{LCI} &= \mu_w - 3\sigma_w \\ \text{Línea central} &= \mu_w \\ \text{LCS} &= \mu_w + 3\sigma_w \end{aligned}$$

Siendo W el estadístico que se va a graficar en la carta, con una media μ_w y desviación estándar σ_w . El límite de control inferior representado por (LCI), y el límite de control superior por (LCS).

En particular, si W tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.9973, con lo que se espera que bajo condiciones de control sólo 27 puntos de 10 000 caigan fuera de los límites. Este tipo de cartas de control fueron propuestas originalmente por el doctor Walter A. Shewhart, y por eso se les conoce como cartas de control Shewhart.

Estas gráficas permiten observar y analizar el comportamiento del proceso a través del tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de analizar el proceso nos referimos principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas de control también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de variables de entrada o de control del proceso mismo. (Gutierrez, 2009)

Los procesos funcionan bajo ciertas condiciones o variables que son establecidas por las personas que lo manejan para lograr una producción satisfactoria. Cada uno de estos factores está sujeto a variaciones que realizan aportes más o menos significativos a la fluctuación de las características del producto, durante el proceso de fabricación. Los responsables del funcionamiento del proceso de fabricación fijan los valores de algunas de estas variables, que se denominan variables controlables. Sin embargo, hay una gran cantidad de variables que son imposibles o muy difíciles de controlar a las que se les denomina variables no controlables. Por ejemplo, pequeñas variaciones de calidad de un insumo, ligeras fluctuaciones de la corriente eléctrica que alimenta una máquina, etc.

Los efectos que producen las variables no controlables son aleatorios. Además, la contribución de cada una de las variables no controlables a la variabilidad total es cuantitativamente pequeña. Son las variables no controlables las responsables de la variabilidad de las características de calidad del producto.

Los cambios en las variables controlables se denominan Causas Asignables de variación del proceso, porque es posible identificarla. Estas causas provocan que el proceso no funcione como se desea y por lo tanto es necesario eliminar la causa, y retornar el proceso a un funcionamiento correcto.

Por otro lado, las fluctuaciones al azar de las variables no controlables se denominan causas no asignables de variación del proceso, porque no son pasibles de ser identificadas, pues son una multitud de causas no identificadas, ya sea por falta de medios técnicos o porque no es económico hacerlo, cada una de las cuales ejerce un pequeño efecto en la variación total. Son inherentes al proceso mismo y no pueden ser reducidas o eliminadas a menos que se modifique el proceso.

Cuando el proceso trabaja afectado solamente por un sistema constante de variables aleatorias no controlables (causas no asignables) se dice que está funcionando bajo control estadístico. Cuando, además de las causas no asignables, aparece una o varias causas asignables, se dice que el proceso está fuera de control.

Para Montgomery (2010) la utilización de las cartas de control es un paso importante que debe darse temprano en un programa de control estadístico de procesos a fin de eliminar las causas asignables, reducir la variabilidad del proceso y estabilizar el desempeño del proceso.

Un caso específico de los gráficos de control son las cartas de control para valores unitarios, es un diagrama para variables de tipo continuo como lo es, la carta de control $\bar{X} - R$. Según Gutiérrez (2009) se emplea en procesos lentos, en los cuales para obtener una medición o una muestra de la producción se requieren periodos relativamente largos. Ejemplos de este tipo de procesos son:

- Procesos químicos que trabajan por lotes.
- Industria de bebidas alcohólicas, en las que deben pasar desde una hasta más de 100 horas para obtener resultados de los procesos de fermentación y destilación.
- Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición. Por ejemplo, temperaturas en procesos, humedad relativa en el medio ambiente, etcétera.

Un modelo general para las cartas de control individuales está dado de la siguiente manera:

$$\mu_x = \bar{x}$$
$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Siendo x el estadístico que se va a graficar en la carta, con una media μ_x , desviación estándar σ_x , $\bar{R}$ el rango y d_2 esta determinado por la tabla factores para la construcción de las cartas de control de Gutiérrez (2009) en la columna correspondiente a estimación de σ .

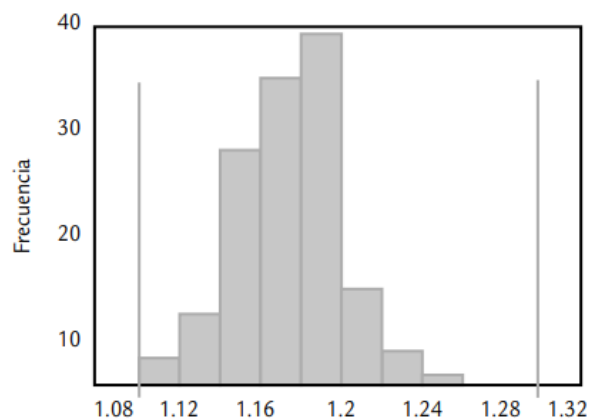
4.2.2 Histograma

En primera instancia, las herramientas de la calidad son de gran ayuda para encontrar las causas posibles en un proceso. Una propuesta para enfrentar los problemas de conformidad es reconociendo las causas de las desviaciones cuando el proceso está fuera de control y se logra con la realización de un diagnóstico de la situación actual.

Para el análisis de un conjunto de datos la clave es conocer su tendencia central y su dispersión. Por ende, el histograma permite visualizar estos dos aspectos de un conjunto de datos, además de mostrar la forma en que los datos se distribuyen dentro de su rango de variación y con lo cual se podría confirmar o rechazar la hipótesis de que la distribución es normal. Cuando un histograma se construye de manera correcta, es resultado de un número suficiente de datos (de preferencia más de 100), y éstos son representativos del estado del proceso durante el periodo de interés.

De acuerdo con Gutiérrez (2009), el histograma ayuda a ver la tendencia central de los datos, facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el pensamiento estadístico, ya que de un solo vistazo se logra tener una idea acerca de la capacidad de un proceso, se evitan tomar decisiones sólo apoyándose en la media y se detectan datos raros y formas especiales de la distribución de los datos.

Ilustración IV. Ejemplo Histograma



Fuente: Gutierrez (2009)

4.2.3 Diagrama de Pareto

La gráfica de Pareto es tan solo una distribución de frecuencia de datos de atributos ordenados por categoría. Este gráfico no identifica automáticamente los defectos más importantes, sino sólo los que ocurren con mayor frecuencia. En general, la gráfica de Pareto es una de las siete herramientas más útiles.

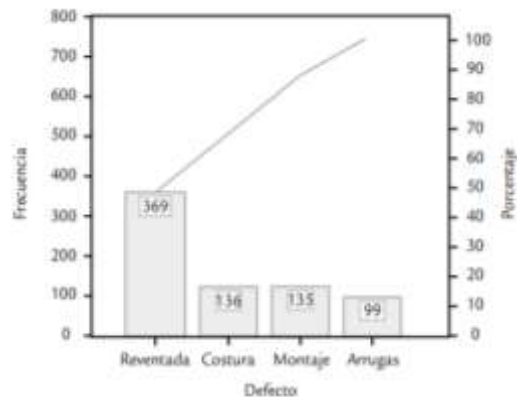
La viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total. El nombre del principio se determinó en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1843-1923).

La idea es que cuando se quiere mejorar un proceso o atender sus problemas, no se den “palos de ciego” y se trabaje en todos los problemas al mismo tiempo atacando todas sus causas a la vez, sino que, con base en los datos e información aportados por un análisis estadístico, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde éstos tengan mayor impacto. (Gutierrez, 2009)

Las características principales que ayudan a comprender la naturaleza de esta herramienta son:

- Priorización: Identifica los elementos de mayor importancia o relevancia dentro de un conjunto de características analizadas.
- Unificación: Permite visualizar y enfocar a los tomadores de decisiones hacia un objetivo común.
- Objetividad: Permite que los decisores tomen medidas basadas en los hechos o datos y no en apreciaciones subjetivas.
- Simplicidad: No requieren cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica.
- Impacto visual: Informa de forma clara, evidente y rápida el resultado de comparación y priorización.

Ilustración V. Ejemplo Diagrama de Pareto.



Fuente: Gutierrez (2009)

4.2.4 Lluvia de ideas

Las sesiones de lluvia o tormenta de ideas son una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, ya que permite la reflexión y el diálogo con respecto a un problema y en términos de igualdad. (Gutierrez, 2009)

Una sección de lluvia de ideas debe cumplir:

- Enfoque con claridad del problema.
- Dejar fluir la imaginación, sin limitaciones.
- Abstractar las ideas en forma de palabras o expresiones concisas y escribirlas.
- Alejarlo en tiempo y espacio, es decir, dejar reposar lo escrito.

4.2.5 Diagrama de Ishikawa

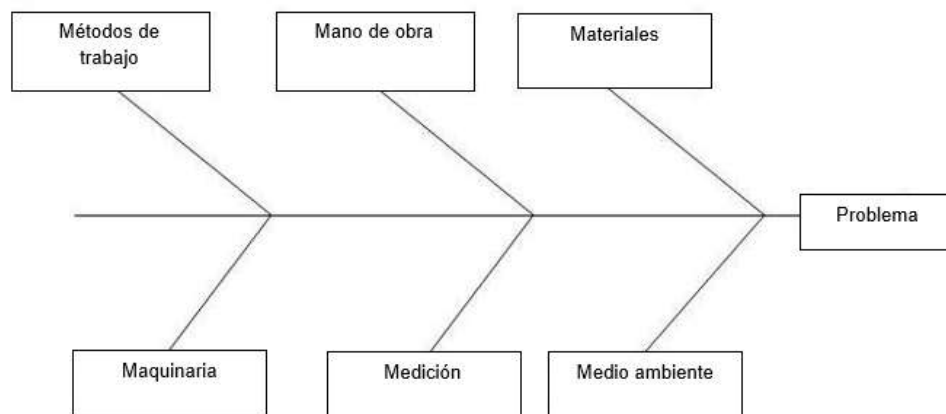
Una vez que un defecto, error o problema se ha identificado y aislado para estudio adicional, es necesario empezar a analizar las causas potenciales de este efecto indeseable. En situaciones en que las causas no son tan obvias (a veces lo son), el diagrama de causa y efecto es una herramienta formal que con frecuencia es de

utilidad para dilucidar las causas potenciales. El análisis de causa y efecto es una herramienta en extremo útil. Un diagrama de causa y efecto muy detallado puede servir como ayuda efectiva para corregir problemas.

La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. El uso del diagrama de Ishikawa ayuda a no dar por obvias las causas, sino que se trate de ver el problema desde diferentes perspectivas. (Gutierrez, 2009)

Dentro de los tipos de diagramas se encuentra el método de las 6 M, el cual consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6 M.

Ilustración VI. Diagrama de Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.6 Capacidad de procesos

Las variables de salida o de respuesta de un proceso deben cumplir con ciertas metas y/o especificaciones, a fin de que sea posible considerar que el proceso funciona de manera satisfactoria. Por ello, una tarea primordial del control de

calidad es conocer la capacidad o habilidad de un proceso, que consiste en determinar la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada. Esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria. (Gutierrez, 2009)

Por lo general, para realizar un estudio de capacidad se toman datos del proceso durante un periodo considerable para que se refleje bien el desempeño del proceso.

Para cuantificar la Capacidad de Proceso se utilizan coeficientes que permiten comparar el rango de especificaciones con la fluctuación natural del proceso.

El índice de capacidad potencial del proceso se define de la siguiente manera:

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma}$$

Donde LSE es el Limite Superior de Especificación, LIE es el Límite Inferior de Especificación y σ la desviación estándar de los datos.

Como se puede observar, el índice Cp compara el ancho de las especificaciones o la variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real de éste:

$$Cp = \frac{\text{Variación real}}{\text{Variación tolerada}}$$

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada. (Gutierrez, 2009)

La desventaja de este índice es que no toma en cuenta el centrado del proceso, debido a que en las fórmulas para calcularlos no se incluye de ninguna manera la media del proceso, μ . Una forma de corregir esto consiste en evaluar por separado el cumplimiento de la especificación inferior y superior, a través del índice de capacidad para la especificación inferior, C_{pi} , y índice de capacidad para la especificación superior C_{ps} los cuales se calculan de la siguiente manera.

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \qquad C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

Por otra parte, el índice C_{pk} es un Indicador de la capacidad real de un proceso que se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso. Este índice es igual al valor más pequeño entre C_{pi} y C_{ps} , es decir, igual al índice unilateral más pequeño y se calcula de la siguiente forma:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

4.3 Variabilidad

La variabilidad es un fenómeno común en los temas provenientes de un proceso industrial que se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso. Ocurre tanto en indicadores de desempeño de operaciones, como en su rendimiento, en los indicadores de calidad de los productos producidos, estando el proceso bajo control.

Para que un producto cumpla con los requerimientos del cliente generalmente deberá fabricarse con un proceso que sea estable o repetible. Para ser más específicos, es necesario que el proceso opere con poca variabilidad en las dimensiones objetivo o nominales de las características de calidad del producto. (Montgomery, 2010)

Para Gutierrez (2009); reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico de procesos. Por lo tanto, es necesario entender los motivos de la variación, y para ello se parte de que en un proceso (industrial o administrativo) interactúan materiales, máquinas, mano de obra, mediciones, medio ambiente y métodos. Estos seis elementos (las 6 M) determinan de manera global todo proceso y cada uno aporta algo de la variabilidad y de la calidad de la salida del proceso. Sin embargo, por mejor ajustado que esté el proceso de producción, los productos presentarán diferencias entre sí, pudiendo ser grandes o muy pequeñas. Para el control del proceso y reducción de la variabilidad, es importante investigar las causas que las originan. El primer paso es distinguir entre causas

comunes y causas especiales. Ribeiro (2009) explica que la confusión entre causas comunes y especiales lleva a la mayor variabilidad y a costos más elevados. La actuación en causas comunes cual si fuesen causas especiales puede llevar a un aumento indeseado de la variación, además representar un costo innecesario.

Las causas comunes no pueden ser evitadas, y cuando el proceso presenta solamente causas de variación comunes, las variables del proceso siguen una distribución normal, mientras que las causas especiales pueden ser eliminadas y son ocasionadas por motivos claramente identificables. Aunque las causas de la variación en la calidad son innumerables, no toda causa afecta la calidad en el mismo grado, algunas afectan enormemente, mientras que otras, aunque teóricamente consideradas como muy importantes, tienen poco efecto sobre la variación en la calidad cuando se controlan adecuadamente. (Kume, 1993)

4.4 Seis Sigma

Es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia seis sigma se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutierrez, 2009).

Se plantea uno de los conceptos más aplicados en la variabilidad de procesos, conocido por sus siglas DMAIC. La D, significa definir, la M es medir, la A es analizar, la I corresponde a la palabra en inglés *improve*, que equivale a mejorar y la C es controlar.

Definir: Consiste en realizar un diagnóstico para identificar cuáles son los elementos que harán parte del proceso, por lo cual, se consideran diferentes criterios como los requisitos de los clientes, las variables resultantes del proceso que son de principal interés y los puntos críticos para la mejora.

Para terminar esta etapa de manera exitosa se recomienda emplear herramientas de calidad comunes como el diagrama de Pareto, el análisis de criticidad, el análisis modal de fallas y efectos, entre otros.

Medir: Se procede a preparar un plan de muestreo para la adecuada recolección de los datos relativos a las características críticas que influyen sobre las variables resultantes del proceso, para lo cual muy frecuentemente se recurre al diseño de experimentos. Esta fase permite obtener toda la información del proceso y el desarrollo de alguna teoría acerca del funcionamiento del mismo, así como la posterior identificación de las causas raíces del problema.

Analizar: Esta etapa es la de mayor contenido técnico, ya que en ella se realiza un estudio exhaustivo de toda la información recolectada en la etapa anterior, identificando las causas vitales de variación del proceso, mediante herramientas estadísticas un poco más avanzadas como la prueba de hipótesis y el análisis de varianza del diseño experimental. Por tanto, en esta fase se corroboran o descartan ciertas teorías y deducen las relaciones existentes entre las variables de entrada y salida del proceso.

Mejorar: En esta fase donde se desarrolla un plan de implantación de mejoras que aporte soluciones sólidas para eliminar los defectos en los que incurre el proceso. En ciertas ocasiones es recomendable hacer una prueba piloto de las mejoras para determinar su alcance antes de ser implantadas.

Controlar: Se comprueba la efectividad de las soluciones propuestas probadas en escala piloto. Se deben establecer controles que monitoricen permanentemente las salidas del proceso y las causas vitales que inciden en su consecución, para mantener las ganancias conseguidas y evitar una eventual pérdida de regularidad con el tiempo.

4.5 Análisis de Regresión y Correlación

En muchos casos es necesario establecer si existe relación entre dos o más variables, con el fin de estimar una de ellas en función de otra que suponemos conocida.

La relación que puede existir entre dos variables las podemos clasificar de la siguiente forma:

Tabla I. Relación de Variables.

Dependencia causal unilateral	Esta relación se da cuando una de las variables influye en otra, pero no al contrario.
Interdependencia	Se presenta cuando la influencia entre las dos variables es recíproca. Sería un caso de dependencia bilateral.
Dependencia indirecta	Dos variables pueden mostrar una correlación a través de una tercera variable que influye en ellas
Concordancia	Se presenta en dos variables independientes a las cuales se les determina la correlación que puede existir.
Covariación casual	Cuando la correlación que se presenta entre las dos variables es de totalmente casual o accidental.

Fuente: Elaboración propia. Tomado de: Martínez (2012)

El término regresión fue utilizado por primera vez como un concepto estadístico en 1877 por sir Francis Galton. Designó la palabra regresión como el nombre del proceso general de predecir una variable a partir de otra. Más tarde, los estadísticos acuñaron el término regresión múltiple para describir el proceso mediante el cual se utilizan varias variables para predecir otra. (Devore, 2005)

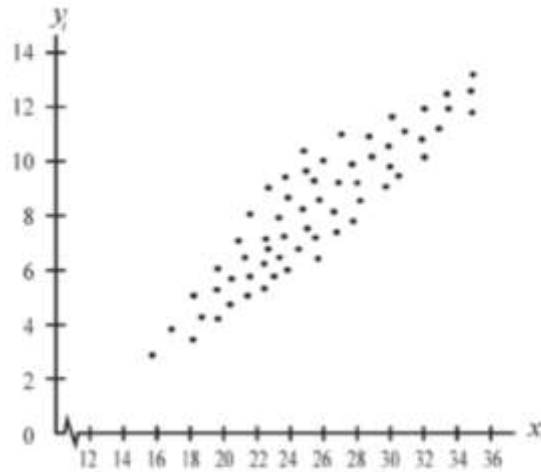
En la terminología de la regresión, la variable que se va a predecir se llama dependiente, a explicar, o endógena. La o las variables que se usan para predecir el valor de la variable dependiente se llaman independientes, explicativas o exógenas.

4.5.1 Regresión Lineal.

El análisis de regresión lineal da lugar a una ecuación matemática que nos permite describir la relación existente entre dos variables. Es decir, obtener una línea "ideal" conocida como línea de regresión, que nos describa la relación o dependencia entre las variables.

Para decidir qué clase de función podría ajustarse a la curva, de acuerdo con las posibilidades, debe hacerse una gráfica de dispersión de los datos observados. Si en dicha gráfica se aprecia que los puntos se distribuyen alrededor de una recta, se procede a realizar un análisis de regresión lineal.

Ilustración VII. Gráfico de Dispersión.



Fuente: Martinez (2012)

En un modelo de regresión lineal simple, la línea que mejor se ajusta a los datos de la población tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde β_0 se denomina intersección de Y y β_1 es la pendiente de la recta de regresión. Los valores de estos parámetros β_0 y β_1 no se conocen y deben estimarse a partir de los datos de la muestra. Estos coeficientes que se calculan de la muestra son conocidos como regresores (b_0, b_1) y comúnmente el criterio más utilizado es el de mínimos cuadrados. El valor de ε se denomina el error asociado al modelo. (Martínez, 2012)

Hay que tener claridad que el análisis de regresión, además de explicar la relación entre dos variables, de causa y efecto, nos indica si la relación matemática puede ser lineal, parabólica, potencial, exponencial, etc. Una vez establecida una relación entre dichas variables, se puede emplear el conocimiento de la variable independiente para pronosticar la variable dependiente.

Las relaciones de tipo no lineal se pueden expresar de la siguiente manera:

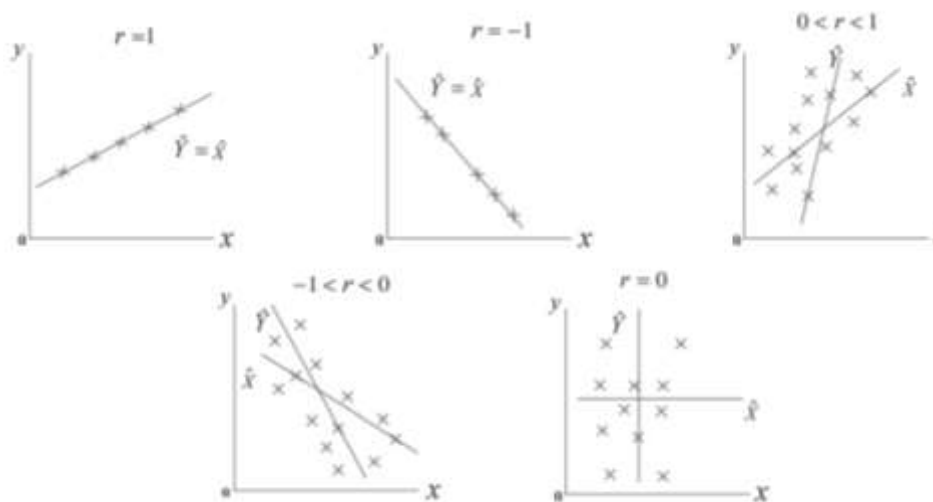
$$\begin{array}{ll} \hat{Y} = \alpha x^2 + \beta_1 x + \beta_0 & \text{Parábola de segundo grado} \\ \hat{Y} = \beta_0 \beta_1^x & \text{Función exponencial} \\ \hat{Y} = \beta_0 x^{\beta_1} & \text{Función potencial} \end{array}$$

Por otro lado, el análisis de correlación describe el grado o fuerza con que se produce la relación entre determinadas variables. En particular, nos interesa cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables.

4.5.2 Coeficiente de correlación

El parámetro que nos da tal cuantificación de relación lineal es el coeficiente de correlación lineal de Pearson r , cuyo valor oscila entre -1 y $+1$.

Ilustración VIII. Comportamiento del coeficiente de correlación



Fuente: (Martínez, 2012)

Así como el análisis de correlación permite medir la fuerza de asociación entre dos variables, el análisis de regresión permite la predicción o sea la estimación de un valor o promedio de una variable denominada dependiente, con base en un valor

promedio supuestamente conocido para la otra variable, denominada independiente.

Es importante resaltar que la línea que mejor se ajusta a un conjunto de datos, es aquella que minimiza la suma de las distancias al cuadrado a los puntos a la línea medidas en dirección vertical o hacia Y. Este criterio de mínimos cuadrados emplea los datos de la muestra para determinar las características de la recta que hacen mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados (y_i) y los valores estimados ($\hat{y}$)

$$\min \sum (y_i - \hat{y})^2$$

El coeficiente de correlación solo mide la fuerza de asociación en una relación lineal, por lo que se hace necesario en algunos casos el coeficiente de determinación. Este coeficiente se puede usar en relaciones no lineales y en relaciones con dos o más variables independientes. En este sentido, el coeficiente de determinación tiene mayor aplicabilidad. (Walpole, Myers, & Ye, 1990)

Con el fin de determinar la pertinencia de la ecuación de regresión hallada, es necesario hacer un análisis de la bondad de ajuste de la recta, demostrar si la relación es estadísticamente significativa y validar los supuestos acerca del término de error. Por lo anterior, es importante calcular el coeficiente de determinación, el cual es una medida de la bondad del ajuste para una ecuación de regresión.

4.5.3 Coeficiente de determinación

Denominamos coeficiente de determinación R^2 como el coeficiente que nos indica el porcentaje del ajuste que se ha conseguido con el modelo lineal, es decir el porcentaje de la variación de la variable independiente que se explica a través del modelo lineal que se ha estimado, es decir a través del comportamiento de la variable dependiente. A mayor porcentaje mejor es nuestro modelo para predecir el comportamiento de la variable en estudio.

También se puede entender este coeficiente de determinación como el porcentaje de varianza explicada por la recta de regresión y su valor siempre estará entre 0 y 1 y siempre es igual al cuadrado del coeficiente de correlación (r).

$$R^2 = r^2$$

Es una medida de la proximidad o de ajuste de la recta de regresión al diagrama de dispersión. También se le denomina bondad del ajuste.

Los coeficientes de determinación y correlación no son suficientes para llegar a la conclusión acerca de si la relación es estadísticamente significativa. Esa conclusión se debe basar en consideraciones donde intervenga el tamaño de la muestra y las propiedades de las distribuciones muestrales adecuadas de los estimadores de los mínimos cuadrados.

4.5.4 Regresión Parabólica

A través del diagrama de dispersión se puede tener una idea sobre el tipo de línea que mejor se ajuste con el conjunto de puntos. La línea diferente de la recta puede tomar una forma de curva, cóncava y convexa, por tanto, se tendrá que considerar de forma parabólica.

La ecuación general de la parábola será:

$$\hat{Y} = \alpha x^2 + \beta_1 x + \beta_0$$

4.5.5 Regresión Exponencial

Debe aplicarse cuando las variables muestren un crecimiento geométrico, tal como sucede con los datos que se refieren o están relacionados con el crecimiento de la población, por ejemplo, desempleo, ocupación, consumo, inversión, etc.

La ecuación general está dada de la siguiente forma:

$$\hat{Y} = \beta_0 \beta_1^x$$

4.5.6 Regresión y Correlación Múltiple

En análisis de regresión lineal múltiple nos permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes. El análisis de regresión lineal múltiple, a diferencia del simple, se aproxima más a situaciones de análisis real puesto que los fenómenos, hechos y procesos sociales, por definición, son complejos y, en consecuencia, deben ser explicados en la medida de lo posible por la serie de variables que directa e indirectamente, participen en su concreción. (Martínez, 2012)

La función utilizada para la regresión múltiple se expresa de la siguiente manera:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots$$

Los parámetros $\beta_1 \beta_2 \beta_3$ se les denomina coeficientes de regresión. El coeficiente β mide la cantidad que aumenta o disminuye la variable dependiente $\hat{Y}$.

4.6 Prueba de Bondad de Ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para contrastar si los datos de la muestra pueden considerarse que proceden de una determinada distribución o modelo de probabilidad. Las pruebas de bondad de ajuste permiten verificar qué tipo de distribución siguen los datos y, por tanto, qué pruebas podemos llevar a cabo en el contraste estadístico. Estas pruebas permiten verificar qué tipo de distribución siguen los datos y, por tanto, qué pruebas podemos llevar a cabo en el contraste estadístico. (Romero, 2016)

A continuación, se exponen las principales pruebas de bondad de ajuste para contrastar la normalidad de una serie de datos recolectado, es decir, si la muestra fue tomada aleatoriamente de una población que sigue un modelo de probabilidad ajustado a la distribución normal.

4.6.1 Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Conocida como prueba K-S, es una prueba de significación estadística para verificar si los datos de la muestra proceden de una distribución normal. Se emplea para variables cuantitativas continuas y cuando el tamaño muestral es mayor de 50. Se basa en el concepto de la función de distribución empírica y sus propiedades como aproximación de la función de distribución teórica cuando se trabaja sobre variables continuas y se conocen todos los parámetros muestrales. Así, esta prueba compara la función de distribución teórica con la empírica y calcula un valor de discrepancia máxima entre ambas distribuciones, proporcionando un valor p , asociado a la probabilidad de obtener una distribución que discrepe tanto como la observada si verdaderamente se hubiera obtenido una muestra aleatoria, de tamaño n , de una distribución normal. (como se cita en Pedrosa, Juarros-Basterredxea & Fernández, 2015)

4.6.2 Prueba de Lilliefors

Con la intención de mejorar la prueba de K-S, Lilliefors (1967) propuso una modificación de esta (K-S-L) sustentada sobre los mismos principios estadísticos, pero específica para aquellos casos en donde la media y la varianza son desconocidas. Para solventar este problema Lilliefors tabuló el estadístico de Kolmogorov-Smirnov para el caso más habitual en el que desconocemos la media y la varianza poblacional y se estiman a través de los datos muestrales. De este modo, se evita el efecto que provoca, como ocurre en el caso de K-S, la estimación de los parámetros de la muestra Steinskog, (2007) y se recomienda, por tanto, como el estadístico más apropiado para dichos casos.

4.6.3 Prueba de Shapiro Wilk.

Shapiro & Wilk (1965) es una de las más consolidadas y con mayor potencia estadística entre las existentes actualmente. Su fundamento estadístico está basado en una gráfica de probabilidad en la que se considera la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución hipotetizada, en donde su estadístico W representa el cociente de dos estimaciones de la varianza de una distribución normal. Esta prueba ha demostrado de manera general, resultados adecuados en comparación a las pruebas clásicas, pero especial

mente cuando se trabaja con distribuciones de colas cortas y con un tamaño muestral inferior a 30. (Arcones & Wang, 2006)

4.6.4 Prueba de Anderson Darling

La prueba de Anderson-Darling se utiliza para probar si una muestra de los datos procede de una distribución absolutamente continua con vector de parámetros. El estadístico de prueba de Anderson-Darling pertenece a una clase de medidas de discrepancia, conocidas como estadísticas cuadráticas. (Stephens, 1974)

La estadística de Anderson-Darling utiliza a la distribución para el cálculo de valores críticos. Esto tiene la ventaja de que se obtiene una prueba más sensible que la de KS. Sin embargo, tiene la desventaja de que los valores críticos deberán calcularse para cada distribución.

4.6.5 Prueba de gráficos.

Mediante la observación de gráficos, los cuales nos orientan sobre la normalidad o no de la muestra se puede dar una estimación de bondad de ajuste para una muestra. El uso de gráficos presenta varias ventajas, como, por ejemplo, la sencillez de interpretación o la facilidad para obtener el diagrama a través de los propios paquetes estadísticos. Sin embargo, el principal inconveniente es la subjetividad de la interpretación visual, ya que, al contrario de las pruebas de significación estadística, las pruebas gráficas no incluyen ningún valor de “p”.

4.7 Software R

El lenguaje R es un software de análisis estadístico y gráfico creado por Robert Gentleman y Ross Ihaka. Es, a la vez un programa y un lenguaje de programación. R se distribuye bajo los términos de la GNU (General Public License). Su desarrollo y distribución es llevada a cabo por el Grupo Nuclear de Desarrollo de R.

R fue compilado principalmente en C, con algunos algoritmos en Fortran; está disponible en varias formas, esencialmente para UNIX y LINUX y como archivos binarios pre compilados para Windows, Macintosh y Alpha Unix. (Gonzalez, 2016)

R es un software para el análisis estadístico de datos considerado como uno de los más interesantes. Apoyan esta opinión la vasta variedad de métodos estadísticos que cubre, las capacidades gráficas que ofrece y, también muy importante, el hecho de ser un software libre, es decir, gratuito.

"R", también conocido como "GNU S", es un lenguaje y entorno para computación y gráficos estadísticos. R implementa un dialecto del galardonado lenguaje S, desarrollado en Laboratorios Bell por John Chambers. Proporciona fácil acceso a una amplia variedad de técnicas estadísticas y gráficas. A los usuarios avanzados se les ofrece un lenguaje de programación completo con el cual agregar funcionalidad definiendo nuevas funciones

5. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el presente trabajo se propone el siguiente diseño metodológico:

5.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación de este trabajo es de tipo descriptivo, por lo que, para su realización se necesita de la definición de los componentes del sistema, así como la interacción que existente entre sus componentes, para definir el sistema de medición y análisis del proceso.

5.2 Recolección de la información

Para recolectar la información, es necesario seleccionar instrumentos confiables, los cuales son usados para asentar los datos medidos para su posterior análisis. Las técnicas de recolección de datos utilizadas son la observación directa, entrevista no estructurada y la revisión documental.

Inicialmente se realizan observaciones directas para recabar de forma sistemática la situación actual del proceso de sacrificio y beneficio de ganado. Para ello, se hace un registro del proceso teniendo en cuenta la información de mayor importancia para el caso de estudio.

Posteriormente se realizan entrevistas no estructuradas a fin de obtener información necesaria del proceso. Las mismas, mediante una conversación o un diálogo no estructurado con la persona encargada de la planta de sacrificio y beneficio. Lo ideal en esta fase es que el entrevistador mantenga el orden de ideas para obtener la información requerida.

Con esta información de base se realiza una revisión documental, con materiales bibliográficos proporcionados por la empresa tales como, formatos y manuales de proceso de beneficio y sacrificio del ganado. Asimismo, utilizando datos sobre las áreas de despacho, control de calidad, producción y control de procesos de la

empresa, con el objetivo de elaborar la base de datos histórica de la variable merma y los factores asociados a esta.

5.3 Análisis de la información

Para el registro de las actividades correspondientes al proceso productivo se representa gráfica y descriptivamente el flujo del proceso con las respectivas etapas que lo componen. La información necesaria para elaborar este diagrama en el presente estudio se obtiene a partir de la observación.

Se elabora y presenta un diagrama de Ishikawa, en el cual se muestra de manera específica las posibles causas y efecto inherentes al proceso de sacrificio y beneficio. También se realiza modelación probabilística de los datos para validar la información suministrada.

Se utiliza análisis de estadística descriptiva, gráficos de control donde se observa el comportamiento de la merma y los posibles factores influyentes, utilizando el análisis de regresión y correlación. Dicho procedimiento llevado a cabo, con el objetivo de estudiar el efecto del factor influyente con mayor frecuencia en la merma, a fin de establecer las mejores prácticas en cada caso para disminuir las mermas en el proceso de sacrificio y beneficio de ganado bovino y bufalino.

5.4 Fases del desarrollo del trabajo

Para la realización de este estudio, se utilizan revisiones literarias relacionadas con la implementación de las herramientas del control estadístico de procesos para el análisis de datos. Los datos son proporcionados por una empresa dedicada al sacrificio y beneficio del ganado bovino y bufalino, ubicada en el corregimiento de Sonso, Valle del Cauca.

Para la primera fase, se realiza una caracterización del proceso productivo de sacrificio y beneficio de ganado, con el fin de conocer e identificar los puntos críticos presentes en las etapas del proceso, desde el sacrificio del ganado en pie, hasta el desprovisto de la totalidad de las vísceras torácicas y abdominales del animal de abastos, que es el producto final denominado canal. Esta caracterización se lleva a cabo a través de la observación y entrevistas realizadas

a los encargados del área de producción, permitiendo así determinar el estado actual de la cadena productiva mediante la utilización de herramientas de mapeo de alto nivel y de nivel detallado.

En la segunda fase, una vez identificados los factores influyentes presentes en el proceso, se analiza la base de datos histórica con el fin de observar patrones de comportamiento tanto independiente con el propósito de validación de los mismos (bondad de ajuste a una distribución de probabilidad), como interacciones entre las variables (análisis de regresión y correlación) y determinar cada una de las herramientas de recolección, organización, validación, medición, seguimiento, control y monitoreo; aquellas que permiten identificar problemas y sus causas; de igual manera, las que permiten determinar acciones para resolverlos. La implementación de las herramientas de calidad proporciona una visión de desempeño para verificar si la variabilidad del proceso se debe sólo a causas aleatorias o si, por el contrario, existen causas asignables de variación.

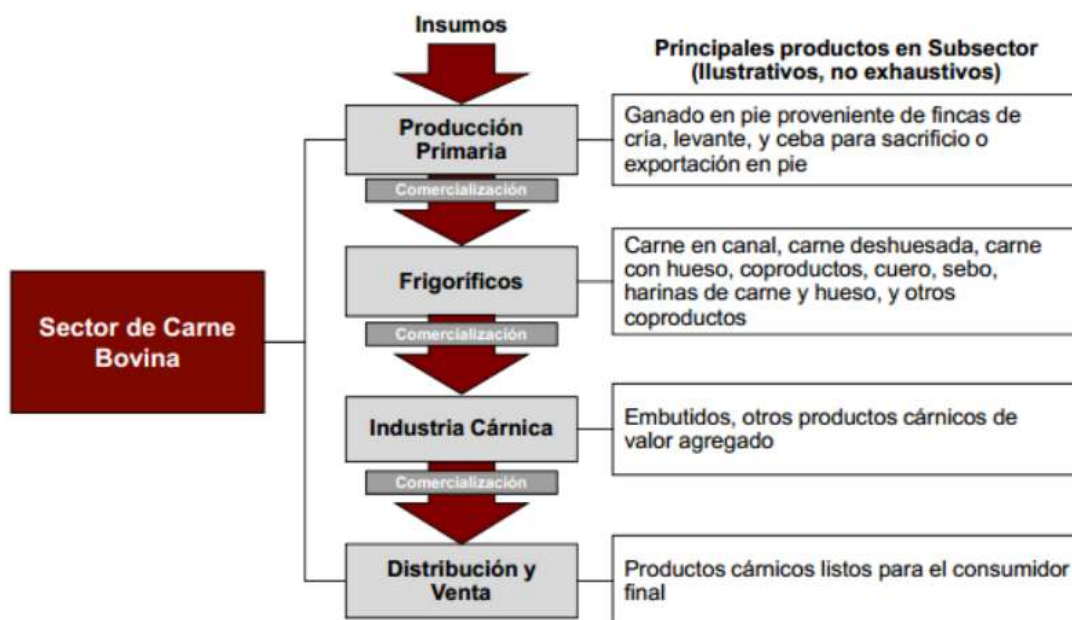
En la tercera fase, se desarrollará el sistema de medición, análisis y control, con el cual se establece la estandarización del proceso que permite hacer seguimiento a la merma, en el cual se refleje la variación generada por cada uno de los factores analizados y la contribución de cada uno de ellos a la variable en estudio, permitiendo medir la capacidad para cumplir con las especificaciones.

6. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO

La cadena productiva de Carnes y Productos Cárnicos describe el proceso productivo que va desde la producción de ganado en pie hasta la elaboración de los siguientes tipos de bienes por parte de las empresas manufactureras de Colombia: carne fresca, refrigerada o congelada; carne seca, salada o ahumada; derivados cárnicos (salchichas, salchichón, morcillas, mortadela, longaniza, butifarra y otros embutidos); patés, jamón, tocineta; y despojos animales (vísceras y menudencias) (DANE, 2012)

Por lo tanto, los productores del sector pecuario que se encargan de la cría y levante del ganado bovino y bufalino son sumamente importante en el proceso de elaboración, como proveedores de los frigoríficos quienes se encargan del sacrificio, beneficio, almacenamiento de las canales y demás subproductos como vísceras, además de velar por la inspección e inocuidad del producto para el cumplimiento de las normas de calidad para el consumo humano.

Ilustración IX. Caracterización Sector cárnico.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

La organización Frigorivalle S.A.S, presta un servicio, por lo tanto, sus clientes son ganaderos y/o supermercados de cadena que poseen ganado en pie y requieren del sacrificio y beneficio para que sus animales sean aprovechados productivamente, y de esta manera ser comercializados. Por lo tanto, sus clientes se convierten en sus proveedores en esta cadena, al traer la materia prima (ganado en pie), y la empresa presta el servicio de sacrificio y beneficio, que al finalizar el proceso entregara canales de bovino o bufalino o sus respectivos clientes.

El sacrificio es el proceso mediante el cual se da muerte a un animal de manera adecuada evitándole sufrimiento, con el objetivo de utilizar su carne y partes para el consumo y uso humano. Este proceso es un eslabón fundamental de la cadena cárnica, la cual se compone de las fases de producción (cría, levante y engorde), transporte, beneficio en plantas de sacrificio y comercialización. (DANE, 2018)

Por otro lado, algunos animales de ganado bovino y bufalino son adquiridos por organizaciones dedicadas a la industria de alimentos embutidos, es decir, derivados cárnicos de valor agregado para su actividad de transformación productiva. Luego son comercializados por ellos mismos o por terceros, este es otro eslabón del sector cárnico.

Los ganaderos y/o supermercados, son los encargados de la comercialización una vez se les haga entrega de sus productos (carne en canal, despostada y subproductos (vísceras)). Las comercializadoras y distribuidoras de carne, se dedican a la compraventa de canales y vísceras, que adquieren por medio de los ganaderos de la región. Por otro lado, los supermercados por lo general, poseen sus propias tiendas de carne para venta al consumidor.

6.1 Descripción del proceso de sacrificio y beneficio

Su proceso de producción está compuesto por las etapas de pre sacrificio, aturdimiento, degüello, sangrado, descuerado, eviscerado, corte, lavado y refrigerado de las canales.

Pre sacrificio: Cuando a los animales se les sacrifica con fines alimentarios, es imperativo por razones éticas que los métodos usados no causen dolor. Para cumplir con este requisito, se insensibiliza el animal antes del sacrificio. Es muy importante cumplir con un periodo mínimo de seis (6) horas de ayuno, con el fin de

proporcionar reposo y no superar las setenta y dos (72) horas de este periodo. Este proceso contribuye al mejoramiento de las características higiénicas, nutricionales y organolépticas de la carne, siguiendo plenamente con las buenas prácticas de bienestar animal.

Cumpliendo con el periodo de reposo, tiempo durante el cual son examinados por el médico veterinario inspector oficial y el médico veterinario inspector de la planta, se determina si son aptos para ser beneficiados. Cuando presentan un síntoma sospechoso de enfermedad deberán ser conducidos al corral de observación en donde son examinados de forma más detallada, y se determina si son aptos para el beneficio o se debe realizar sacrificio de emergencia.

Después de este período, cuando el animal debiera estar descansado, es movido del corral de retención al área de aturdimiento de manera que produzca el mínimo estrés para éste.

Aturdimiento: Se ingresa el lote de animales limpio y escurrido a la manga que conduce a la puerta del box de insensibilizado para el inicio del proceso de beneficio. Primeramente, se hace una verificación de limpieza y desinfección las cuales son realizadas por el departamento de calidad y médico inspector oficial a cada una de las áreas, equipos y utensilios empleados para realizar los procesos de beneficio que cumplan con los estándares de inocuidad para poder iniciar el beneficio. Una vez aprobada la sanitización del bovino, este es ingresado al box de insensibilizado.

El bovino es inmovilizado antes del aturdimiento ya que mejora la efectividad de éste. Este procedimiento se realiza por un método mecánico que induce a la inmediata pérdida de conocimiento administrando un severo golpe en la cabeza del animal y no debe durar más de treinta y cinco (35) segundos en realizarse. El impacto es efectuado por pistola calibre veintidós (22) con perno de catorce (14) mm o pistola neumática con trabajo de ciento setenta (170) a ciento noventa (190) psi, las cuales se ubican en la región dorso cervical. Este procedimiento se realiza para evitar el sufrimiento del animal y posibles accidentes al operario de aturdimiento.

Sangría: Una vez terminada la etapa de aturdimiento, un nuevo operario es el encargado de realizar el izado del bovino, colocando un grillete en la pata izquierda y elevando el conjunto (grillete-animal) con la ayuda de una grúa eléctrica hasta enganchar el grillete en un riel para conducir al animal a la

canaleta. Una vez el animal esté ubicado en la canaleta o túnel de sangría, se realiza el desangrado del animal por parte del operario de sangría. El sangrado debe ser lo más completo posible y en un lapso de tiempo superior a los cinco (5) minutos en el que se produce la muerte del animal.

Luego de que el animal está totalmente desangrado se realiza una incisión a nivel de la gotera yugular exponiendo la tráquea y el esófago para realizar el anudado del mismo con varilla y clic para anudar esófago, cuchillos, chaira, guante de acero y esterilizador.

Degüello: Esta labor se efectúa manualmente con la ayuda de un cuchillo realizando el corte a nivel de la llave (entre la primera y la segunda vértebra cervical), cortando los ligamentos de la nuca, el esófago y laringe. Las manos se cortan a nivel de los huesos de la falsa rodilla (huesos metacarpianos) las cuales van a sus respectivas áreas de procesamiento. En este proceso se requiere de dos operarios; uno para el corte de cabeza y otro para lavado de esta, al igual que las manos y patas.

Corte de pata y anudado de recto: Para esta actividad se requiere de un operario que inicialmente realiza el corte de la cola y la pata derecha. Posteriormente corta alrededor del orificio anal, evitando cortar alguna parte del intestino grueso que genere una contaminación. Se procede a realizar el anudado del recto y posterior se va cortando desde el orificio anal por la parte ventral, hasta la región de la verija (región inguinal). Si el animal sacrificado es un toro, se corta un poco más debajo de los testículos; si es una hembra, se corta un poco más debajo de la ubre. Luego se realiza el desollamiento de piel de esta zona hasta liberar toda la piel de la pierna para poder cortar el miembro posterior (pata) a nivel de la articulación del corvejón o garrón (articulación tarso tibial).

Para realizar la transferencia y corte de segunda pata, un operario de transferencia debe llevar el animal desde el riel de sangría (alto) hasta el riel de trabajo (bajo) con ayuda de la grúa eléctrica.

Faldeo: Luego que al animal se le han cortado las patas, es conducido por el riel al área de faldeo, en donde el operario de faldeo realiza un corte desprendiendo la piel desde la verija (parte inferior del vientre), pasando por el abdomen hasta la mitad del pecho (esternón) con el cuchillo.

Apertura de pecho: En esta etapa se realiza la apertura del pecho (cavidad torácica), inmediatamente después que el animal es descuerado; en este proceso se emplea una sierra eléctrica especialmente diseñada para cortar el hueso del pecho (esternón) y manejada por un operario que realiza la apertura.

Desolladora: En esta etapa se retira la piel y cuero restante del bovino, el cual se encuentra asegurado por los brazos a la cadena de anclaje manejada por el operario de desolladora, una vez se retira la totalidad del cuero, este es pesado y conducido por una rampa hacia la sala destinada para estos remanentes.

Eviscerado: El bovino es ubicado frente a una plataforma de eviscerado en donde se cortan los músculos del estómago a lo largo (de arriba hacia abajo). Una vez abierta la cavidad abdominal, la víscera blanca queda descubierta y se conducen los ligamentos del estómago e intestinos hacia un área donde se almacenan las vísceras blancas. Posteriormente se realiza el desprendimiento de la unión de la víscera roja a la canal del bovino cortándola a nivel de la faringe para ser conducida hasta el área destinada para este remanente. Esta labor es realizada por un operario (operario de evisceración) y no debe realizarse a un tiempo superior a los treinta (30) minutos después de la muerte del bovino.

El área destinada para la evisceración al ser un área de alto riesgo de contaminación, debe cumplir con parámetros de salubridad para garantizar la inocuidad y evitar cualquier tipo de contaminación (directa o cruzada).

Corte de canal: Un operario de sierra posiciona la sierra eléctrica a nivel de la raíz de la cola del animal y acciona el botón de funcionamiento para realizar un corte limpio a la canal del bovino a lo largo del espinazo (columna vertebral) hasta la columna cervical en dos medias canales. Esta operación tiene una duración entre treinta (30) y cuarenta (40) segundos.

Limpieza de canal: Un operario de pulido retira la grasa desde la cadera hasta el lomo viche (parte interna de la pierna) y la parte del cuello donde se realizó el corte para el desangre. De igual manera se extraen posibles coágulos y hematomas y se depositan en canecas respectivas para una posterior disposición.

Lavado de canal: Un operario de pulido realiza el lavado completo a la canal con agua potable a presión en una plataforma neumática para retirar restos de suciedad (sangre o esquirlas de hueso)

Desinfección de canal: Se deja en reposo la canal durante el tiempo establecido, con el fin de que ésta escurra el agua restante de la operación de enjuague y no afecte el proceso de refrigeración. Posteriormente se desinfectan las canales por aspersión con desinfectante orgánico a una concentración estipulada antes del ingreso a la cava de refrigeración. Se debe realizar inspección visual por el encargado de calidad a cada una de las canales para autorizar ingreso a cuartos fríos.

Almacenamiento: Una vez ubicadas las canales en el riel que conduce hacia el cuarto frío, estas deben ser pesadas en la báscula ubicada en este riel para realizar un registro en las manillas de identificación con la información de pesos y respectivos clientes antes de ser conducidas al cuarto frío, en donde deben ser separadas de forma uniforme con el fin de obtener una circulación de aire frío por todos sus costados. El tiempo de permanencia de las canales en el cuarto frío debe ser el necesario (mínimo doce horas para que el producto llegue a la temperatura de 0 ° C a 7 ° C con la cual debe ser despachada).

6.2 Descripción de la canal

La canal o carcasa está constituida específicamente por músculo, grasa y hueso. Otros componentes tales como nervios, vasos sanguíneos, tejido conectivo son cualitativamente no significativos (Gonzales, 1986).

La composición de la canal tiene un papel significativo en el cálculo de las ganancias es decir la cantidad total de carne y hueso expresada en un porcentaje sobre el peso de la canal; se estima en los bovinos de mayor clase comercial un rendimiento promedio del 58% y 60%, disminuyendo el de las clases de más baja calidad comercial aproximadamente a un 46% y 48% (Grau, 1995).

Por lo cual, todos los interesados en el proceso productivo, mercadeo, industrialización y comercialización de la carne están directa o indirectamente relacionados con el tema del rendimiento de la canal, sea cual sea el tipo y procedencia de la canal de bovino o bufalino, es absolutamente necesario conocer los elementos y las condiciones del proceso para obtener el rendimiento total de una canal.

7. SITUACIÓN ACTUAL

7.1. Validación de datos.

Frigorivalle S.A.S realiza operaciones comerciales mensualmente con aproximadamente treinta (30) clientes en diferentes proporciones y diferentes exigencias de acuerdo con las necesidades de cada uno de ellos. Gran parte de sus clientes incluyen supermercados de cadena y distribuidores locales.

En los primeros tres meses del año 2018 fueron sacrificados en total siete mil doscientos ochenta y ocho (7288) cabezas de ganado, la participación que representa cada uno de los clientes en la totalidad de sacrificios en el primer trimestre se presenta a continuación.

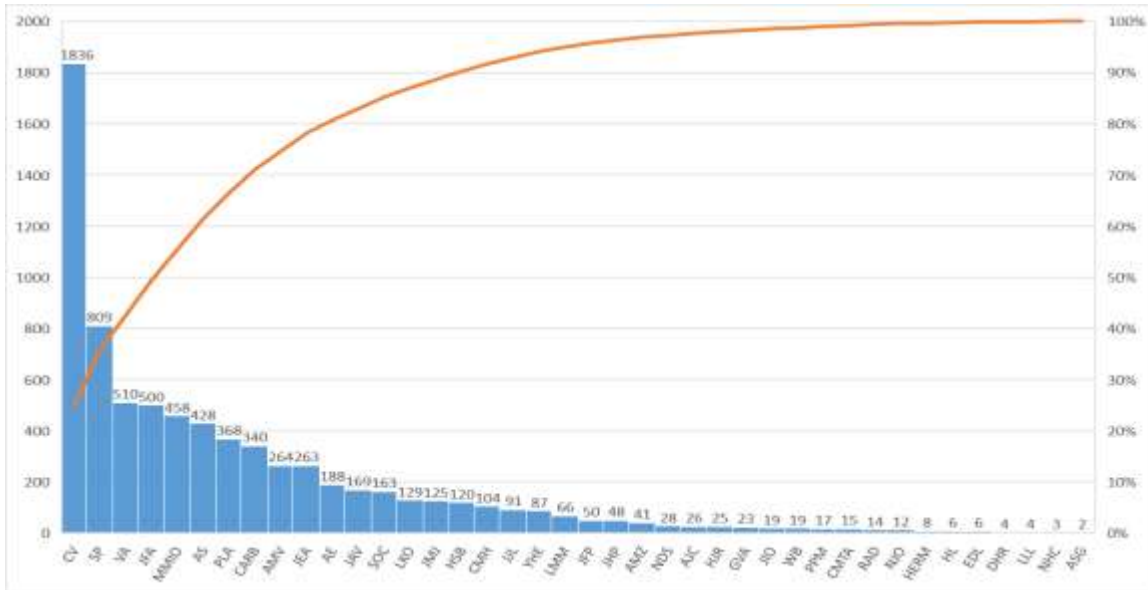
Tabla II. Participación por cliente en sacrificios totales.

NOMENCLATURA	CLIENTE	ENERO	FEBRERO	MARZO	TOTAL	PARTICIPACION
CV	SUPERTIENDAS CANAVERAL S A	688	557	591	1836	24,85%
SP	SUPERMERCADO EL PROVEEDOR D	290	262	257	809	10,95%
VA	VALENCIA ARCESIO	176	172	162	510	6,90%
JFA	ALZATE RUA JUAN FERNANDO	232	137	131	500	6,77%
MMIO	MERCAMIO SA	139	179	140	458	6,20%
AS	AGROPECUARIA LA SEVILLANA S	229	125	74	428	5,79%
PLA	PANIAGUA LIZCANO ARMANDO DE	129	133	106	368	4,98%
CARB	INDUSTRIA DE ALIMENTOS CARB	108	138	94	340	4,60%
AMV	AGROPECUARIA MARO DEL VALLE	34	117	113	264	3,57%
JEA	ALVAREZ GIRALDO JESUS EDUAR	87	76	100	263	3,56%
AE	ASOCIACION DE EXPENDEDORES	62	63	63	188	2,54%
JAV	VELEZ JHON ALEXIS	70	43	56	169	2,29%
SOC	AGROPECUARIA LA BALANZA SOC	35	74	54	163	2,21%
LKO	OROZCO CASTRILLON LUZ KARIM	56	30	43	129	1,75%
JMJ	MARTINEZ JARAMILLO JOHNATAN	51	36	38	125	1,69%
HSB	SERNA BOTERO HENRY	54	28	38	120	1,62%
CMH	HOYOS ARIAS CARLOS MARIO	15	45	44	104	1,41%
JJL	LOAIZA GONZALEZ JORGE DE JE	30	30	31	91	1,23%
YHE	ECHEVERRY QUINTERO YONNY HE	27	30	30	87	1,18%
LMM	MOLANO MUNERA LUCRECIA	27	19	20	66	0,89%
JFP	PARRA SERNA JOSE FERNANDO	0	0	50	50	0,68%
JHP	PALACIOS OCAMPO JOSE HERNAN	14	11	23	48	0,65%
AMZ	MARIN ZAMBRANO ALEXANDER	24	17	0	41	0,55%
NDS	DUQUE SERNA NORBERTO	0	14	14	28	0,38%
AJC	CABAL NAVIA ALVARO JOSE	0	0	26	26	0,35%
HJR	RAMIREZ PEREZ HERNANDO DE J	11	7	7	25	0,34%
GVA	AGROPECUARIA GOLOSO DEL VAL	23	0	0	23	0,31%
JIO	OSORIO OSORIO JOSE IDOLFO	8	6	5	19	0,26%
WVB	BETANCUR SALGADO WILLIAM AL	0	0	19	19	0,26%
PPM	MARQUEZ ROJAS PEDRO PABLO	7	4	6	17	0,23%
CMTA	COMERCIALIZADORA MALTA SAS	0	15	0	15	0,20%
RAD	DUQUE RAFAEL ANTONIO	14	0	0	14	0,19%
NJO	OSSA MEJIA NESTOR JHONY	6	2	4	12	0,16%
HERM	ORGANIZACION COMERCIAL HERM	0	0	8	8	0,11%
HL	HACIENDA LUCERNA SAS	3	3	0	6	0,08%
EDL	LENIS RAMIREZ EDWARD DAVID	0	6	0	6	0,08%
DHR	HERNANDEZ ROA DIEGO	4	0	0	4	0,05%
LLL	LOPEZ LOPEZ LIBARDO	1	1	2	4	0,05%
NHC	CEBALLOS GONZALEZ NORIS HEL	1	0	2	3	0,04%
ASG	GONZALEZ ARBOLEDA SEBASTIAN	2	0	0	2	0,03%
	TOTAL	2657	2380	2351	7388	100%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede evidenciar que entre los cuarenta (40) clientes que realizaron sacrificios con el frigorífico en el primer trimestre del año, Supermercados Cañaveral tuvo una participación significativa del 25%, es decir que solo un 2,5% del total de los clientes representa una cuarta parte de la totalidad de operaciones para la empresa.

Ilustración X. Sacrificios totales por cliente.



Fuente: Elaboración propia

Siendo Supertiendas Cañaveral el cliente con mayor volumen de sacrificio y beneficio para el frigorífico, se lleva un seguimiento más regular en cuanto a pesos, tiempos y temperaturas, a diferencia de los otros clientes con los que no se realiza un control continuo, por esta razón el trabajo se desarrolla en base a los datos registrados para este cliente entre los meses enero y marzo del año en curso y con el cual se cuenta con un 90% de datos registrados de la totalidad de sacrificios durante este periodo. El porcentaje restante se omite por pérdida de información relacionado a problemas internos de la empresa o inconsistencias en los datos que pueden afectar el estudio.

7.2. Variables del proceso

Durante el proceso de sacrificio y refrigeración se consideran varios factores como posibles influyentes en la merma, y por ende en su alta variabilidad dados los diferentes escenarios que se pueden combinar los factores asociados a este fenómeno.

La merma como ya se definió, se mide en porcentaje a su pérdida de peso de la canal post refrigerada con respecto al peso pre refrigeración de la canal.

El cálculo del porcentaje de merma se mide de la siguiente manera:

Pi: Peso canal pre refrigerado (kg)

Pf: Peso canal post refrigerado (kg)

$$\%merma: \left(\frac{Pi - pf}{pi} \right) \times 100$$

Para la base de datos recolectada en el periodo de estudio (enero-marzo) se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

7.2.1. Temperatura final de la canal

Una vez terminado el tiempo de permanencia de la canal en el cuarto de enfriamiento, se toma una muestra por lote de la temperatura de salida de una canal aleatoria. Esta temperatura se toma con una herramienta de medición de temperatura (termómetro) y se registra en un formato de seguimiento en valores de centígrados.

Durante el periodo de desarrollo del estudio se presentan los datos de cuarenta y nueve (49) jornadas de sacrificio, por lo cual para esta variable se tienen únicamente esa cantidad de registros de temperaturas finales para ser evaluadas posteriormente con el promedio de merma del lote correspondiente al mismo lote.

Se debe tener en cuenta que esta variable ya cuenta con una especificación legal, pues al ser una planta de beneficio de especies bovinas y bufalinas se encuentra regida por la resolución 0240 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social, la cual establece en el artículo 28 que las canales en refrigeración deben alcanzar una temperatura de 7°C para poder ser despachadas.

7.2.2. Tiempo de refrigeración.

Este factor está determinado en unidades de tiempo (horas) de permanencia de la canal en los cuartos de enfriamiento. El tiempo de refrigeración es medido como la diferencia de horas desde la entrada de la canal al cuarto frío, hasta la salida de

la misma. Ambos registros son diligenciados por un operario de turno en los formatos respectivos de entrada y despacho.

Estos registros están tomados únicamente para el primer turno por lote que ingresa a refrigeración y la hora de salida del mismo turno para su respectivo despacho, sin embargo, para este estudio, los tiempos registrados individualmente se obtienen sumando un intervalo fijo de tiempo al registro de tiempo del turno anterior. Este procedimiento se tiene en cuenta tanto en los registros de entrada como de salida para cada turno.

I_e : Intervalo fijo de tiempo de entrada al cuarto

I_s : Intervalo fijo de tiempo de salida del cuarto

He_i : Hora de entrada al cuarto frío del turno i .

Hs_i : Hora de salida del cuarto frío del turno i .

$$\text{Tiempo de refrigeración} = (Hs_{i-1} + I_s) - (He_{i-1} + I_e)$$

La empresa establece un tiempo mínimo de permanencia de las canales en los cuartos de refrigeración de 10 horas, suficiente para alcanzar la temperatura mínima de ley definida anteriormente.

7.2.3. Rendimiento de la canal

Este factor representa el porcentaje de aprovechamiento de carne en canal que se obtiene del animal en pie, obtenido con el registro manual de peso del animal en pie (peso planta) y el peso de la canal que se registra una vez ha terminado el proceso de sacrificio antes de ingresar la canal al cuarto de refrigeración en un formato estándar de seguimiento.

$$\text{Rendimiento canal} = \frac{P(\text{kg})}{\text{Peso planta (kg)}} \times 100$$

A la empresa le conviene altos porcentajes de rendimiento los cuales determinan una mayor utilidad económica. El porcentaje restante se distribuye como subproductos.

7.2.4. Cantidad de almacenamiento

Como ya se había mencionado anteriormente, la empresa otorga prioridad para su mayor cliente durante todo el proceso. En el caso del almacenamiento de los lotes, y siendo estos de cantidades considerablemente superiores a otros clientes, se asigna un cuarto único para el almacenamiento de la totalidad del lote de canales, evitando que se mezcle con otros lotes de diversos clientes minoristas.

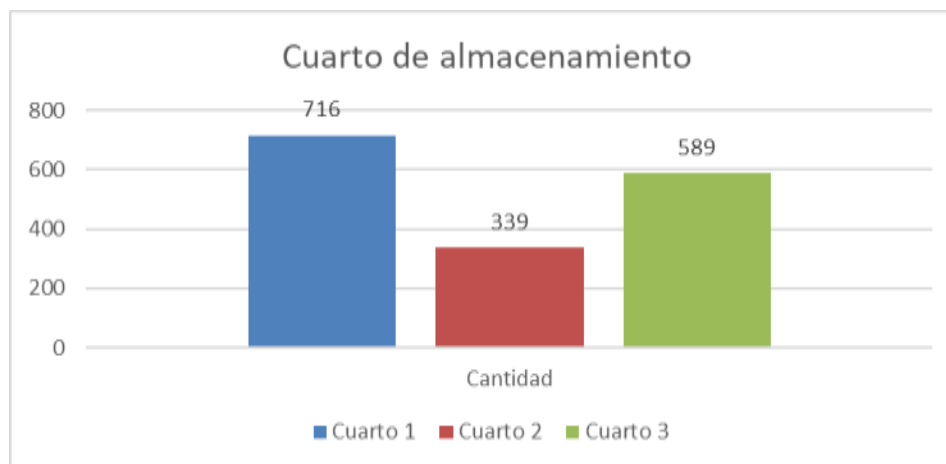
En algunos casos es necesario almacenar en el mismo cuarto de refrigeración hasta dos lotes del mismo cliente, puesto que durante el periodo de almacenamiento y refrigeración se puede sacrificar otro lote sin haber despachado el anterior. En estos casos se evalúa la cantidad máxima de almacenamiento a la que estuvieron los cuartos junto con el promedio de merma del lote específico.

7.2.5. Cuartos de almacenamiento

El frigorífico almacena los lotes de canal en tres (3) diferentes cuartos, de los cuales no se lleva un seguimiento continuo de la temperatura y se mantienen regularmente entre 0° y 4°. Todos ellos cuentan con el mismo sistema de refrigerado y la misma capacidad de almacenamiento de máximo cien (100) canales. El enfriamiento de un cuarto a otro puede variar por características intrínsecas en cada uno, es por eso que resulta ser una variable de estudio para la variabilidad de la merma.

Entre el periodo de estudio, la totalidad de los canales almacenados en cada cuarto se presenta en la siguiente gráfica.

Ilustración XI. Cantidad de almacenamiento total por cuarto.



Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que el cuarto de mayor uso es el cuarto tres (3), sin embargo, la empresa no cuenta con una política de almacenamiento que determine en qué cuarto se almacena todo el lote de canales, y generalmente se destina empíricamente la totalidad del lote al cuarto que se encuentra totalmente desocupado. La única condición que se mantiene para este cliente es no mezclar en el mismo cuarto los lotes de canales con lotes de diferentes clientes.

7.2.6. Tipo de animal.

Los datos suministrados por la empresa para esta variable están limitada a solo dos razas, bovina y bufalina, dado que en Colombia el cruce de razas entre la especie bovina ha sido desmesurada y no se logra identificar razas que no estén genéticamente modificadas, entre estos animales. Por lo que, la empresa para realizar los registros toma en cuenta el factor sexo, identificando así un tipo de animal que es la combinación entre estos dos factores (raza-sexo) de la siguiente manera:

BVM: Hace referencia a los bovinos machos de los datos suministrados.

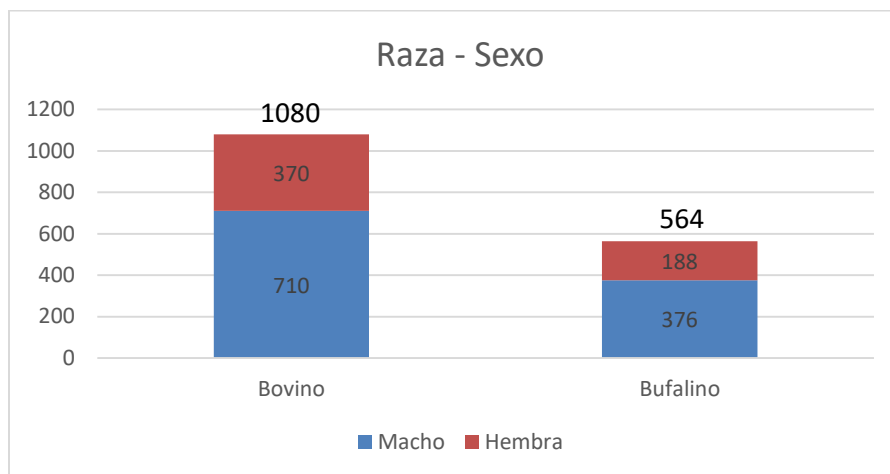
BVH: Hace referencia a los bovinos hembras de los datos suministrados.

BFM: Hace referencia a los bufalinos machos de los datos suministrados.

BFH: Hace referencia a los bufalinos hembras de los datos suministrados.

La clasificación de raza y sexo de la totalidad de los datos en estudio se presenta a continuación:

Ilustración XII. Cantidad de canales por raza y sexo



Fuente: Elaboración propia

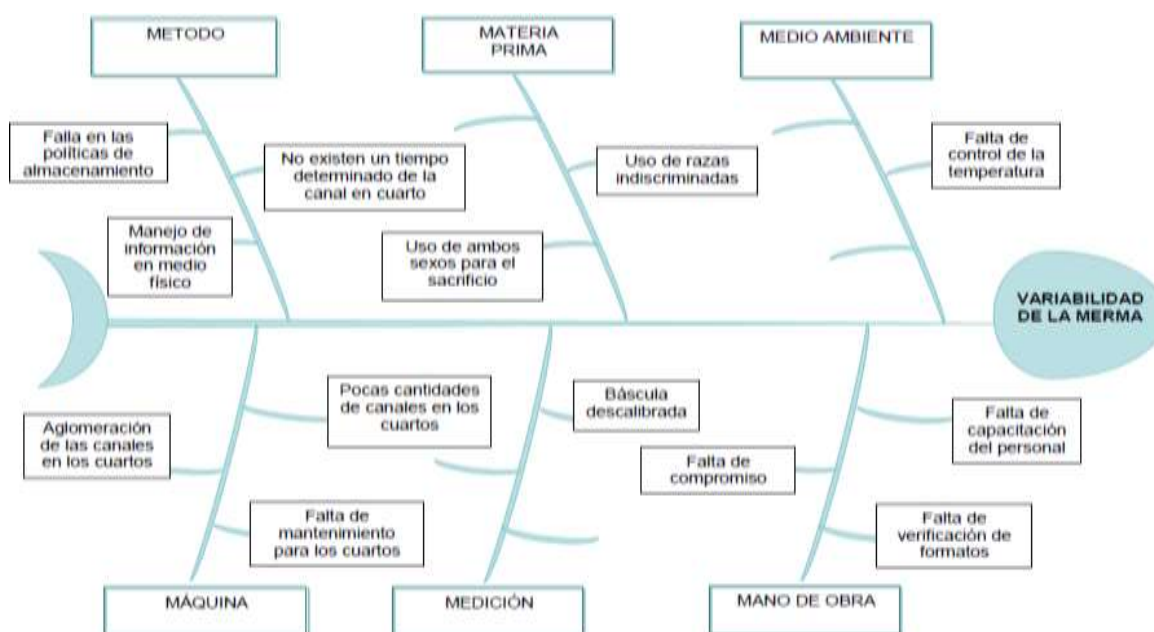
Se observa una mayor participación de bovinos respecto a la raza, y mayor participación de los machos en ambas razas. En el capítulo posterior se estudiará si estas condiciones específicas tienen incidencia en el porcentaje de pérdida de peso de la canal.

8. ANÁLISIS DE DATOS Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES INFLUYENTES

8.1. Análisis de datos.

Se construye un diagrama de causa y efecto a partir de la información suministrada por el personal de la empresa, los cuales manifiestan los posibles orígenes que pueden ocasionar la variabilidad de la merma como punto de partida para identificar los factores que influyen en la merma y los puntos críticos del proceso, es decir, las etapas en donde estos factores están presentes. Podemos observar en la ilustración XIII. Diagrama de causa-efecto, que las causas atribuibles a método, máquina y mano de obra son los que representan mayores causas identificadas por el personal, aunque cabe aclarar que para el estudio de control se tomaran en cuenta las variables que los encargados registran actualmente en su documentación para realizar el estudio de correlación y regresión pero relacionando las variables posiblemente influyentes a la variabilidad de merma a las causas ilustradas en el diagrama de causa-efecto, como punto de partida para el análisis.

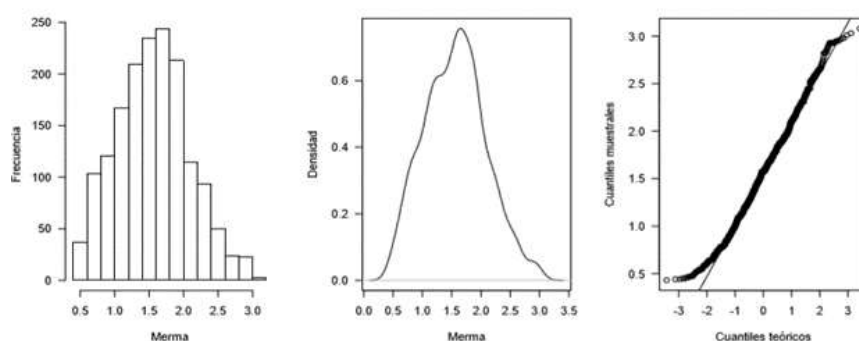
Ilustración XIII. Diagrama de causa-efecto



Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se pretende analizar los 1644 datos de merma recolectados durante el periodo enero-marzo para determinar a qué distribución se ajustan, adicionalmente se realiza la prueba de bondad de ajuste para validar la confiabilidad de los datos. Además, establecer la distribución de probabilidad de los datos resulta ser un punto de partida para decidir sobre los métodos y herramientas de seguimiento, control y monitoreo que se propondrán. El primer paso para determinar la distribución que sigue los datos de los porcentajes de merma es realizar un análisis exploratorio de éstos. Dado que la variable de interés es continua se determinan medidas de resumen y se realizan gráficos descriptivos, como se observa en la ilustración XII. Así mismo, se realiza el gráfico de cuantiles teóricos vs cuantiles muestrales para una distribución normal utilizando la herramienta R.

Ilustración XIV. Distribución de datos de merma.



Fuente: Elaboración propia.

Las medidas descriptivas presentadas a continuación son un punto de partida para evaluar la simetría de la distribución, en donde se puede observar que las medidas de tendencia central de moda y mediana están muy próximas a la media, indicando una alta simetría en la distribución de los datos.

Tabla III. Medidas descriptivas de la distribución.

Media estimada (μ)	1,56
Desv. Estándar estimada (σ)	0,52
Mediana	1,57
Moda	1,57

Fuente: Elaboración propia

A partir de las gráficas y de manera visual se puede interpretar que los datos se asemejan a una distribución normal, dado que los gráficos de frecuencia y densidad muestran que el comportamiento de los datos es simétrico. Adicional a esto, la gráfica de cuartiles teóricos muestra la función de distribución acumulada empírica de los datos y la teórica de la distribución normal observando un mismo patrón, lo cual permite formular una prueba de hipótesis.

Por medio de las diferentes pruebas de bondad de ajuste, se evalúa si se acepta o se rechaza la hipótesis nula (H_0) sobre la hipótesis alternativa (H_a) definidas de la siguiente manera:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_a : Los datos no siguen una distribución normal

El software R utiliza diferentes pruebas estadísticas para determinar el valor p . Este valor es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Por tanto, un valor p más pequeño proporciona una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

A continuación, se muestran los valores de p obtenidos para las pruebas de bondad de ajuste Anderson Darling y Lilliefors (corrección Kolmogorov-Smirnov) dado que estas pruebas son las que mejor se ajustan según el tamaño de muestra y las características de los datos.

Tabla IV. Resultados pruebas bondad de ajuste.

	p valor
Anderson Darling (A)	0,1164
Lilliefors (D)	0,2171

Fuente: Elaboración propia.

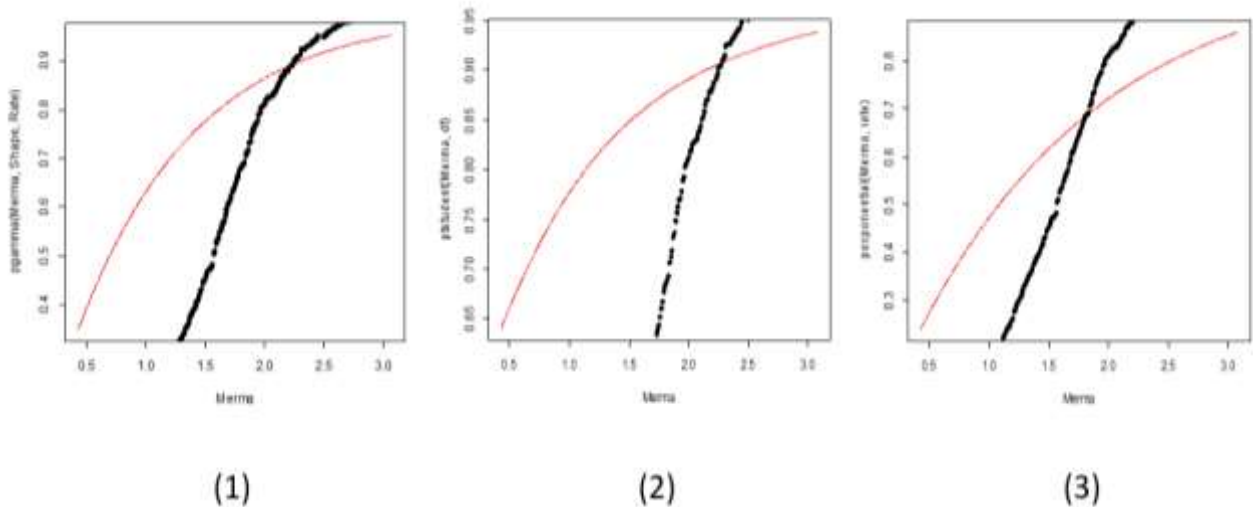
Para determinar si los datos siguen una distribución normal, se compara el valor p con el nivel de significancia. Teniendo en cuenta un nivel de confianza de 95% y como nivel de significancia $\alpha = 0,05$ se determina que la variable presenta una distribución normal, puesto que para poder aceptar H_0 se debe cumplir que $p > \alpha$.

Adicional a esto, se requiere garantizar que la distribución de los datos en estudio se ajuste principalmente a una distribución normal, para esto se valida por medio de las gráficas de distribución acumulada si el patrón correspondiente se ajusta a la función de distribución acumulada empírica de la merma. De igual manera se determina el valor p de las mismas pruebas de bondad de ajuste utilizadas anteriormente (Anderson Darling y Lilliefors) para distribución Gamma, distribución t student y distribución exponencial que permitan rechazar la hipótesis nula de que los datos se ajustan a la distribución específica evaluada.

H_0 : Los datos siguen la distribución específica evaluada.

H_a : Los datos no siguen la distribución específica evaluada.

Ilustración XV. Patrón de distribución acumulada correspondiente vs Distribución acumulada de la merma.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla V. Pruebas bondad de ajuste de distribuciones alternativas.

	Valor p	
	Anderson Darling (A)	Lilliefors (D)
(1) Distribución Gamma	0,0003843	$1,798e^{-7}$
(2) Distribución t student	$3,667e^{-7}$	$2,2e^{-7}$
(3) Distribución exponencial	$3,667e^{-7}$	$2,2e^{-7}$

Fuente: Elaboración propia.

Analizando las gráficas se puede observar que las distribuciones acumuladas de los datos de merma no siguen un patrón asociado a la distribución correspondiente. Las pruebas de bondad de ajuste permiten corroborar con el valor p que se debe rechazar la hipótesis nula (H_0) ya que todos los valores de p obtenidos no superan el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

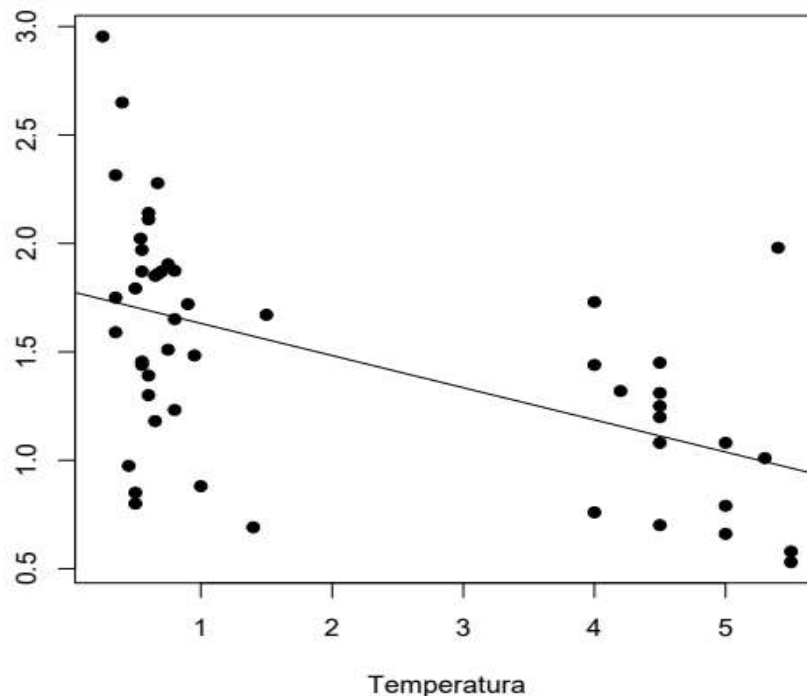
Dado lo anterior se puede concluir razonablemente, que los datos que sirven de base para el estudio, reflejan las características del proceso y no han sufrido distorsión durante su recolección y registro, ya que se ajustan a un comportamiento aleatorio, en este caso correspondiente a una distribución de probabilidad normal, lo cual resulta muy poco probable que ocurra cuando los datos no son confiables.

Una vez completada la verificación de la confiabilidad de los datos históricos disponibles y determinada la distribución de probabilidad a la que se ajustan, se busca identificar individualmente la relación e incidencia sobre el porcentaje de merma de cada uno de las variables que se tuvieron en cuenta para el proceso. Para esto, se realiza un análisis de regresión y correlación de cada una de las variables continuas y discretas del proceso en relación a la variable de estudio.

8.1.1. Merma en relación a la temperatura final de la canal:

Se busca determinar si la temperatura final de la canal tiene incidencia en el porcentaje de merma, por lo que se evalúa la relación entre estas dos variables continuas en el siguiente gráfico de dispersión.

Ilustración XVI. Merma en relación a la temperatura final de la canal.



Fuente: Elaboración propia.

El grafico de dispersión es una herramienta estadística muy útil para describir el comportamiento conjunto de dos variables, en este caso en el eje X se representa como variable independiente el tiempo de refrigeración en horas de todos los turnos, y en el eje Y, el porcentaje de merma correspondiente a cada uno.

El eje X representa el valor de la temperatura de salida del cuarto frio de la canal en grados Celsius (°C) de un turno específico, y el eje Y representa los valores de merma correspondientes a cada turno.

El análisis visual de este factor, junto con la evaluación por medio de la herramienta informática R, establecen una relación lineal inversa con respecto a la merma, puesto que su coeficiente de correlación es de -0.67. La relación que presentan estas dos variables según el coeficiente de correlación es fuerte.

Sin embargo, se observa que los datos se encuentran fraccionados, por lo se hace necesario garantizar que para ambos intervalos no existan inconsistencias en su relación. Es por esto que se evalúa cada intervalo de temperatura en el que se concentran los datos tal como se muestra a continuación.

Tabla VI. Coeficiente de correlación por intervalos

Intervalo de temperatura	Coeficiente de correlación.
0°C a 2°C	-0,60
4°C a 6°C	-0,57

Fuente; Elaboración propia.

Esto permite determinar que la merma tiene una dependencia de la temperatura final de la canal, esto indica que entre valores más bajos en centígrados a los que llegue la canal después del periodo de refrigeración, se pueden obtener mayores resultados en el porcentaje de merma. Su ecuación lineal se representa de la siguiente manera:

$$y = -0,1876x + 1,8461$$

Resolviendo la ecuación, el valor teórico para una merma de 2% se encuentra en una temperatura de -0,82°C lo cual indica que este es el valor límite de temperatura que debe alcanzar la canal para no sobrepasar las especificaciones de merma. Aunque estos valores son aproximados a la regresión lineal, en la ilustración XVI se puede observar que para temperaturas inferiores a 1°C se incurren en porcentajes de pérdida superior al 2%, por lo cual se establece esta temperatura como límite inferior para cumplir con la especificación de merma, así mismo como el límite máximo de 7°C definida legalmente como la temperatura que debe alcanzar la canal para su despacho.

Se determina con base en la ecuación lineal evaluada con la temperatura máxima de 7°C, la merma mínima esperada (dada la relación inversa de las variables) para la canal después del proceso de refrigeración. Esta evaluación da como resultado una merma de 0,53%.

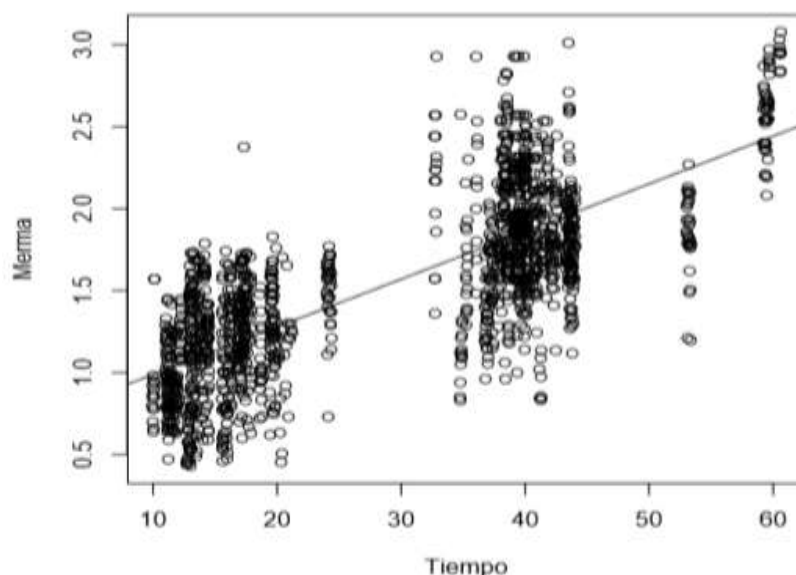
Por lo tanto, las especificaciones máxima y mínima que debería cumplir la temperatura final de la canal respectivamente son: 7°C y 1°C. Igualmente, las especificaciones máxima y mínima para el porcentaje de merma serán: 2% y 0,53% respectivamente.

8.1.2. Merma en relación al tiempo de refrigeración.

El tiempo de permanencia de las canales en el cuarto frío juega un factor importante en la conservación de propiedades organolépticas y peso de las mismas, es por esto que se realiza un análisis conjunto de las dos variables (merma vs tiempo) para determinar la relación entre ellas.

El grafico de dispersión es una herramienta estadística muy útil para describir el comportamiento conjunto de dos variables, en este caso en el eje X se representa como variable independiente el tiempo de refrigeración en horas de todos los turnos, y en el eje Y, el porcentaje de merma correspondiente a cada uno.

Ilustración XVII. Merma en relación al tiempo de refrigeración.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de regresión realizado por medio del programa R, determina que los datos presentan una relación lineal positiva con un coeficiente de correlación de 0.76, el cual se considera como una correlación fuerte entre las variables y su ecuación lineal está dada de la siguiente manera:

$$y = 0,029x + 0,6984$$

Sin embargo, se observa que los datos están porcionados en intervalos de tiempo y espacios discontinuos, esto se debe a que los horarios de sacrificio nunca se

realizan en horarios nocturnos, y los horarios de despacho son generalmente a la misma hora al ser el primer despacho del día como cliente prioritario. Por esta razón existen diferencias de tiempo que no tienen ocurrencia en el proceso.

Se determina entonces que existe una dependencia considerable del porcentaje de merma con respecto al tiempo de permanencia en el cuarto frío, indicando que conforme aumenta el tiempo de refrigeración de una canal, se van a generar mayores pérdidas en su peso.

Teniendo en cuenta que la especificación establecida por la empresa indica una merma no superior al 2%, con base en la ecuación lineal, se establece que el límite máximo de tiempo de refrigeración debe ser de 44,88 horas.

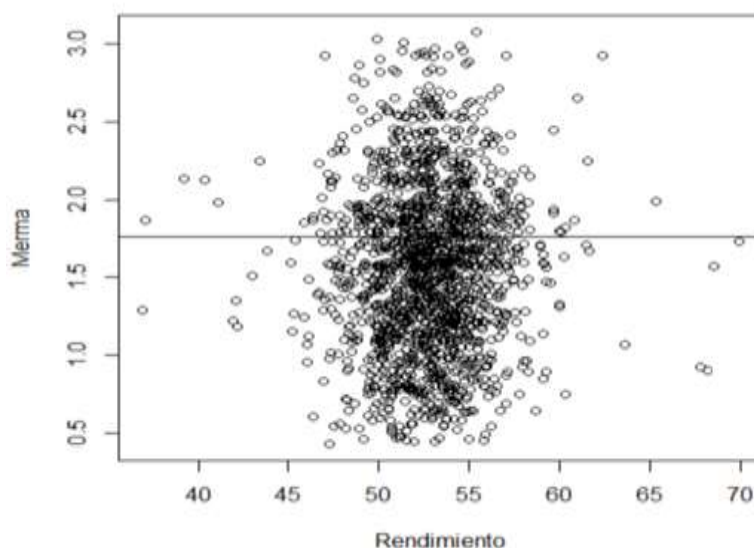
Se define el tiempo mínimo de permanencia en los cuartos de refrigeración de 10 horas, especificación que ya tenía establecida la empresa como tiempo suficiente para alcanzar la temperatura mínima de ley y cumplimiento de normas sanitarias. De esta manera quedan establecidas las especificaciones máxima y mínima para el tiempo de refrigeración como 45 horas y 10 horas respectivamente.

8.1.3. Merma en relación al rendimiento

De igual manera, para el análisis del rendimiento, se busca determinar si existe una relación que permita justificar que la merma tiene cierto grado de dependencia con el rendimiento del animal, es decir, que los factores asociados a la pérdida de peso del animal en pie, hasta el final del proceso de sacrificio los cuales determinan su rendimiento, puedan tener repercusiones en el comportamiento de la canal durante su tiempo de refrigeración, y por ende, afectar propiedades fisiológicas que aceleren o disminuyan la pérdida de peso de la canal.

El gráfico de dispersión nos muestra en el eje X el porcentaje de rendimiento obtenido por cada canal pre-refrigeración, y en el eje Y, su porcentaje de merma post refrigeración.

Ilustración XVIII. Merma en relación al rendimiento de la canal.



Fuente: Elaboración propia.

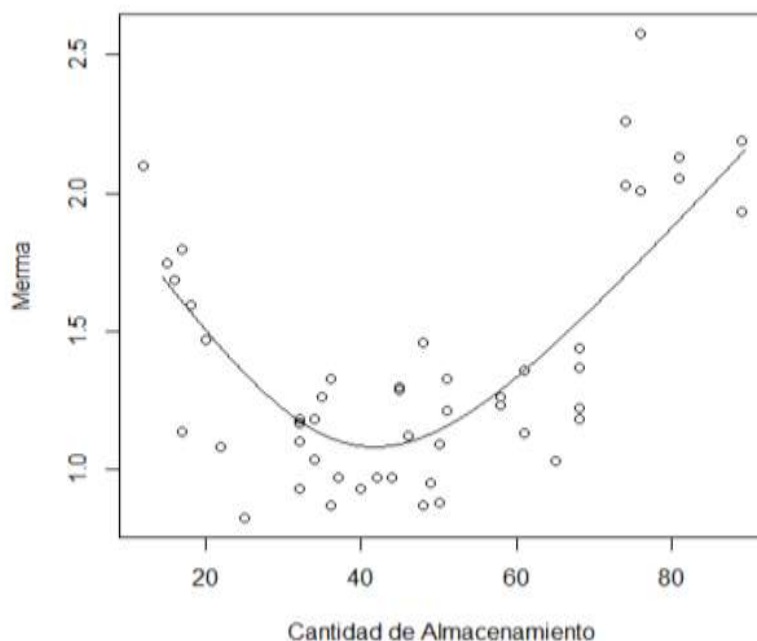
El diagrama de dispersión permite observar las coordenadas de la merma de la canal con relación al porcentaje de rendimiento del animal, en donde se puede evidenciar a simple vista que los datos no presentan ningún tipo de relación, lo que permite indicar, junto con el coeficiente de correlación obtenido de 0,02, el cual es significativamente bajo, que la merma es independiente de este factor y no se hace necesaria una evaluación detallada o la implementación de un sistema de medición, monitoreo y control para la variable en estudio en relación al rendimiento.

8.1.4. Merma en relación a cantidad de almacenamiento:

Se considera que la distribución del almacenamiento de las canales en los cuartos de refrigeración son un factor importante para la conservación de las condiciones específicas de cada canal, por lo cual es necesario determinar si la merma se ve afectada por la cantidad de canales almacenadas en un cuarto.

En el gráfico de dispersión se evalúa en el eje X el almacenamiento máximo que tuvo un lote de canales en un cuarto con su correspondiente promedio de merma en el eje Y.

Ilustración XIX. Merma en relación a cantidad de almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, se observa un comportamiento particular de los datos, pues estos no presentan una relación lineal como otros factores, sin embargo, la herramienta informática R permite evaluar diferentes relaciones y determinar a la que más se ajusta. Se establece para esta variable, una relación parabólica positiva con un coeficiente de correlación de 0.56, lo que indica una correlación moderada.

La aproximación a una distribución parabólica indica que las menores cantidades de almacenamiento generan un porcentaje de merma significativamente alto y va disminuyendo a medida que se acerca a cantidades entre cuarenta (40) y sesenta (60) en donde el promedio de merma por lotes son los más bajos, los cuales indicarían la cantidad ideal de almacenamiento en donde la canal conserva a mayor grado su peso inicial. A partir de esas cantidades, el promedio de merma de la canal comienza a aumentar progresivamente con las cantidades, viéndose esta afectada por la aglomeración en un mismo cuarto de almacenamiento.

Determinados los coeficientes de regresión α , β_1 , β_0 con el software R, la ecuación de la regresión parabólica queda de la siguiente manera:

$$Y = 0,000669x^2 - 0,05773x + 2,04563$$

Con sus respectivos coeficientes:

$$\alpha = 0,000669 \quad \beta_1 = -0,05773 \quad \beta_0 = 2,04563$$

Siendo una función parabólica se requiere determinar su vértice, cuyo valor indica la cantidad óptima de canales almacenadas en un mismo cuarto que generan el menor promedio de merma y se define por:

$$x = \frac{-\beta_1}{2\alpha}$$

El valor de x en el vértice para esta ecuación da como resultado una cantidad de 43,14 aproximando al mayor entero se define la cantidad óptima de 44 canales por cuarto dado que los tres cuartos presentan las mismas condiciones de tamaño.

Así mismo, por medio de la ecuación parabólica se determinan los valores teóricos para los cuales la merma supera el 2%.

$$x_1 = 0,79$$

$$x_2 = 85,49$$

Con base en los valores obtenidos, se establece la especificación máxima de 85 canales en los cuartos de almacenamiento. La especificación mínima establece una canal en el cuarto, dado que no se presentan mermas superiores a 2% para valores cercanos a una canal almacenada.

8.1.5. Merma en relación al cuarto de almacenamiento

Se realiza un estudio de la variable merma con respecto a cada cuarto para identificar si algún cuarto genera más merma en comparación a otro. Se calcula la media, la moda y la mediana de la merma para cada uno de ellos para analizar sus medidas de tendencia central. Adicional a esto, se realiza para cada cuarto un

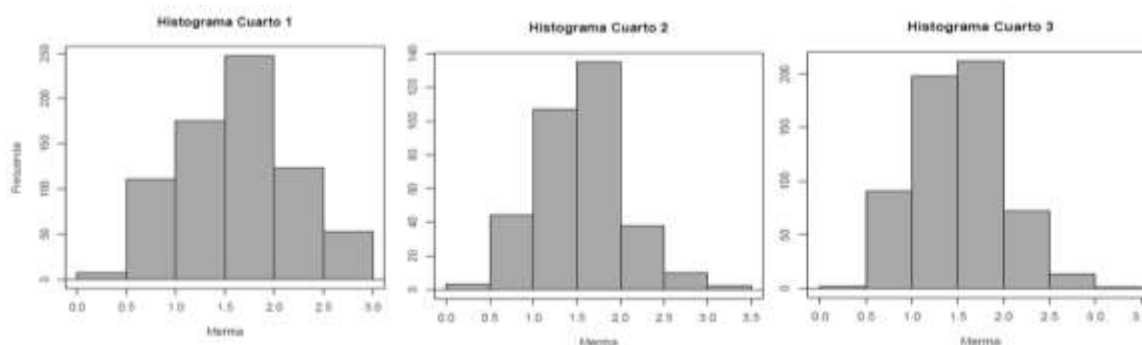
histograma de frecuencia para garantizar que no se presenten inconsistencias o cambios significativos de un cuarto en específico frente a los otros.

Tabla VII. Medidas de tendencia central para cuartos de almacenamiento

Cuarto	Media	Moda	Mediana
1	1,62	1,87	1,62
2	1,54	1,72	1,57
3	1,51	1,59	1,51

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración XX. Histograma de cuartos individuales

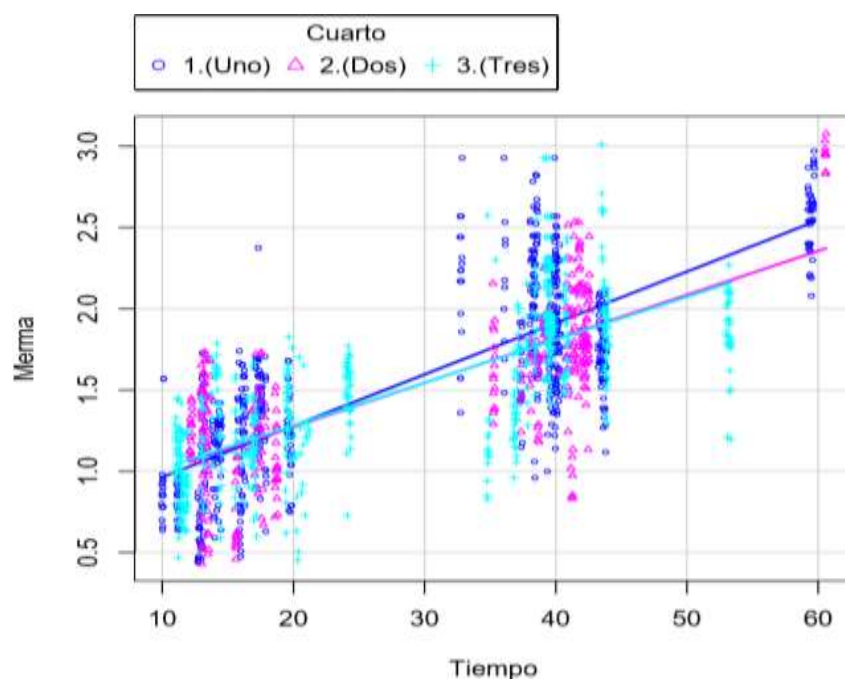


Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la tabla VI, el cuarto que tiene el mayor promedio de merma es el cuarto uno (1), esto puede verse reflejado también en su moda ya que es considerablemente alta con respecto a los otros cuartos. El cuarto que tiene un comportamiento de tendencia más centrado es el cuarto tres (3), dado que sus medidas de tendencia tienen un valor muy cercano para este cuarto y su promedio de merma es menor de los tres cuartos.

Al ser una variable cuantitativa, se realiza el análisis de regresión, evaluando las variables de merma en relación al tiempo para cada cuarto por ser este último el factor con mayor influencia entre las variables cuantitativas según el análisis que se describió anteriormente para esta variable de tiempo.

Ilustración XXI. Merma en relación al tiempo por cuarto.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que existe una relación lineal para todos los cuartos, arrojando coeficientes de correlación cercanos a cuando se evaluaron de manera general los tres cuartos para las variables de merma y tiempo. Los coeficientes correspondientes a cada cuarto se muestran a continuación, los cuales permiten asegurar que para cada cuarto se mantiene la relación de la merma con el tiempo planteada anteriormente.

Tabla VIII. Coeficientes de correlación por cuarto.

Cuarto	Coeficiente de Correlación
1	0,79
2	0,74
3	0,73

Fuente: Elaboración propia

El análisis de regresión en conjunto para cada cuarto también permite identificar bajo las mismas condiciones de tiempo si existe alguna diferencia entre los

cuartos en relación a la merma, tal como se observa en la Ilustración XXI que a pesar de ir las tres relaciones muy a la par, a partir de aproximadamente veinticinco (25) horas de refrigeración, el cuarto uno (1) comienza a distanciarse ligeramente de las relaciones determinadas para los otros dos cuartos, es decir, que bajo las mismas condiciones de tiempo, las canales del cuarto uno (1) presentan un mayor porcentaje de merma que las canales almacenadas en los cuartos dos (2) y tres (3).

Las condiciones del cuarto pueden verse afectadas por características propias de cada cuarto como lo son la alimentación eléctrica, conservación térmica, humedad relativa, eficiencia del motor, entre otros.

8.1.6. Merma en relación a Tipo de animal.

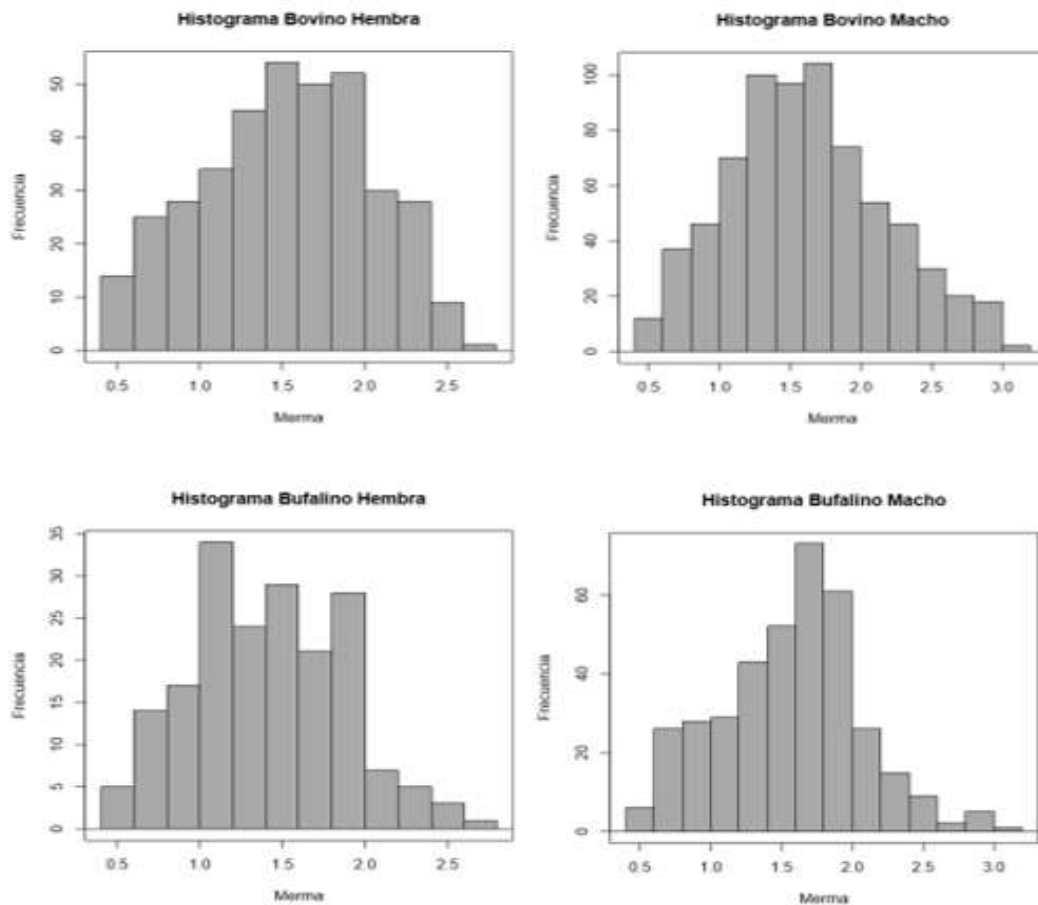
Se realiza un estudio con la variable merma con respecto a cada tipo para identificar si alguno genera más merma con respecto a otro. Se calcula la media, la moda y la mediana de la merma para cada tipo de la matriz donde se encuentra la información en el periodo de estudio y se presentan los histogramas de frecuencia correspondiente a cada uno para evaluar posibles inconsistencias, además que estos aportan criterio visual del comportamiento de estas variables.

Tabla IX. Medidas de tendencia central para cada tipo de animal.

Tipo	Media	Moda	Mediana
BVM	1,62	1,57	1,59
BVH	1,53	2,25	1,57
BFM	1,56	1,87	1,62
BFH	1,41	1,91	1,40

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración XXII. Histogramas para cada tipo

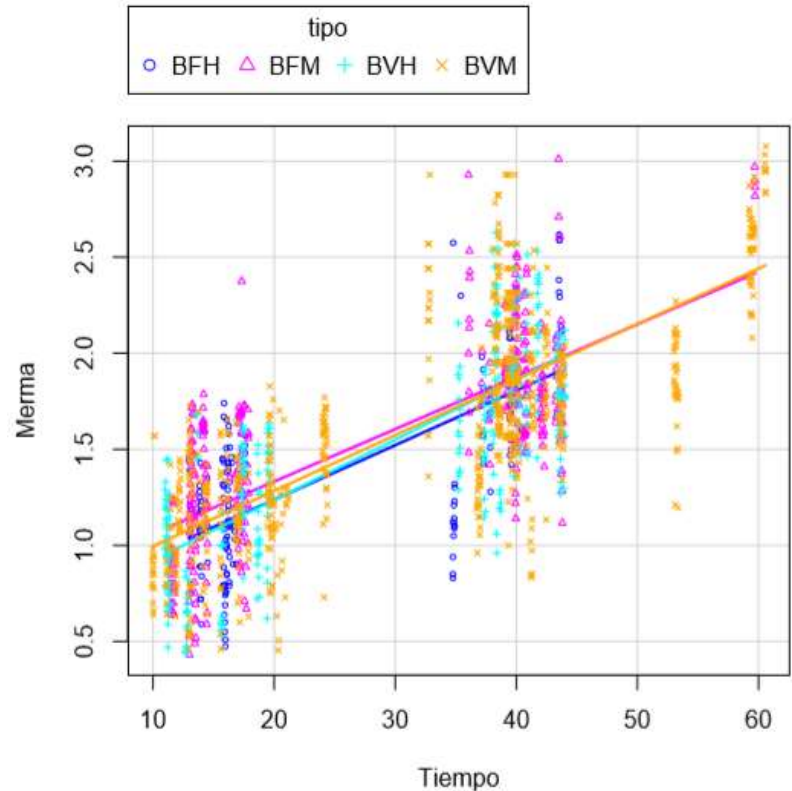


Fuente: Elaboración propia.

El análisis individual de medidas de tendencia central para la variable merma de los cuatro tipos de animal, identifica disparidad y asimetría de los datos debido a los diferentes escenarios en los que se evalúa la merma, como lo son la diferencia de cuartos de almacenamientos, tiempos de refrigeración, temperatura de salida de la canal y cantidad de canales almacenadas.

Se realiza un análisis de regresión y correlación de igual manera que se realizó anteriormente con la variable cuantitativa de cuarto, evaluando las variables de merma y tiempo para cada tipo.

Ilustración XXIII. Merma en relación al tiempo para cada tipo de animal.



Fuente: Elaboración propia.

Se logra observar que existen una relación lineal con una alta relación, obteniendo coeficientes de correlación cercanos al coeficiente evaluado para la merma en relación al tiempo de los cuatro tipos. Los coeficientes correspondientes a cada tipo se presentan a continuación y se ratifica para cada tipo su relación con respecto a la merma bajo condiciones de tiempo de refrigeración.

Tabla X. Coeficientes de correlación de tipo.

Tipo	Coeficiente de Correlación
BVM	0,76
BVH	0,78
BFM	0,75
BFH	0,73

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la gráfica de relaciones en conjunto que los cuatro tipos presentan gran similitud, permitiendo reconocer que la diferencia de tipo bajo las mismas condiciones de tiempo no tiene una incidencia significativa para el porcentaje de merma. Por lo tanto, para un determinado tiempo de refrigeración, todas las razas presentan valores muy cercanos de merma lo que permite concluir que el tipo de animal no influye en el comportamiento de la merma y por lo tanto no es necesario incluir este factor en el sistema de medición y monitoreo.

8.2. Clasificación de las variables influyentes.

Una vez especificadas cada una de las diferentes variables del proceso y estudiadas individualmente en relación a la variable en estudio, se realiza la comparación con base en los análisis de regresión y correlación para determinar entre ellas las de mayor influencia en el porcentaje de merma, y así mismo, determinar las herramientas necesarias para garantizar un mayor control sobre estas.

En la Tabla XI se muestra en resumen el tipo de relación para cada variable del proceso con respecto a la merma y sus respectivos coeficientes de correlación.

Tabla XI. Resumen de variables.

Variable	Tipo de variable	Tipo de regresión ajustada	Coefficiente de correlación
Rendimiento de la canal	Continua	Lineal positiva	0,02
Tiempo de refrigeración	Continua	Lineal positiva	0.76
Temperatura de salida de la canal	Continua	Lineal negativa	-0.53
Cantidad de canales almacenadas	Continua	Parabólica positiva	0.65
Cuarto de almacenamiento	Discreta	Lineal Positiva	-
1			0,79
2			0,74
3			0,73
Tipo de Animal	Discreta	Lineal Positiva	-
BVM			0,76
BVH			0,78
BFM			0,75
BFH			0,73

Fuente: Elaboración propia.

Se determinan como influyentes solo aquellas variables continuas cuyo valor absoluto de coeficiente de correlación sea superior a 0.5, definiendo una relación mínimamente moderada con respecto a la merma. En cuanto a las variables discretas de tipo de animal y cuarto de almacenamiento, fueron evaluadas con respecto a la variable continua de tiempo de refrigeración y no se encontró influencia directa de estos factores sobre la merma, por esta razón se prioriza la clasificación para las variables continuas.

Tabla XII. Clasificación variable influyentes.

CLASIFICACIÓN	Variable	Coeficiente de correlación	Criterio
1	Tiempo de refrigeración	0,76	Influyente
2	Cantidad de canales almacenadas	0,65	Influyente
3	Temperatura de salida de la canal	-0,53	Influyente
4	Rendimiento de la canal	0,02	No influyente

Fuente: Elaboración propia.

Se clasifica entonces de mayor a menor grado de influencia las variables que cumplen con la condición establecida, dando como principal factor influyente al tiempo de refrigeración, seguido por la cantidad de canales almacenadas y, en tercer lugar, la temperatura de salida de la canal. Se descarta la variable de rendimiento de la canal como factor influyente para la merma debido a su bajo coeficiente de correlación.

Para la variable de cuartos, se debe dar un diferente tratamiento para la disparidad del cuarto uno, el cual presentó una mayor merma para las canales evaluadas con respecto a los cuartos dos y tres, por características individuales que no corresponder a un factor determinado.

9. SISTEMA DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y CONTROL

El sistema propuesto cuenta con tres componentes: recolección de la información, análisis de datos y monitoreo de las variables. Para llevar a cabo estos componentes, se realiza una propuesta utilizando como plataforma una aplicación realizada en el programa Microsoft Excel con el fin de facilitar su manejo a los colaboradores involucrados en el proceso.

El sistema de medición cuenta con cuatro pestañas, las cuales contienen los cálculos y gráficos de control necesarios para el monitoreo de las variables del proceso. Del formato de control merma y tiempo se desprenden dos pestañas, en las cuales se encuentran los datos para el monitoreo de la merma y tiempo respectivamente. El formato de temperatura lleva anclado la pestaña monitoreo de temperatura, al igual que el formato de inventario canales lleva anclado la pestaña monitoreo de cantidades.

Tabla XIII. Estructura de pestañas de la Herramienta de Medición.

Posición de pestañas	Nombre
1	Formato control Merma y Tiempo
2	Monitoreo Variable Merma
3	Monitoreo Variable Tiempo
4	Formato Control Temperatura
5	Monitoreo Temperatura
6	Formato Inventario de Canales
7	Monitoreo Variable Cantidades

Fuente: Elaboración propia.

9.1. Recolección de la información

Para llevar a cabo la recolección de la información se encuentran tres formatos, el primero para reunir lo correspondiente a las variables merma y tiempo. El segundo formato es el control de la temperatura, que en el se almacenaran los datos correspondientes a esta variable. Por último, el formato de inventario canales,

recolecta la información correspondiente al ingreso y salida de canales de los cuartos de refrigeración. Cabe resaltar, que para los tres formatos se contará con una columna que se denomina trazabilidad, en esta parte se ingresa la información correspondiente a la identificación de la canal, lote al cual pertenece, código del cliente, raza, sexo, fecha de ingreso del animal en pie, esto con el fin de tener control de la procedencia de las canales y garantizar a cada cliente la efectividad de la trazabilidad del producto. En la siguiente tabla, se ilustra el campo correspondiente a la información de trazabilidad.

Tabla XIV. Campo destinado para información de trazabilidad.

TRAZABILIDAD						
Cód. Cliente	Fecha	Nº Cuarto	Lote	Nº Canal	Raza	Sexo

Fuente: Elaboración propia.

La recopilación de la información se debe realizar a través de cada formato según corresponda para cada variable, el área encargada se hace responsable del respectivo formato. El área de despacho diligencia el formato control merma y tiempo, el área de almacenamiento el formato de inventario de canales, el área de calidad el formato de control temperatura, sin embargo, se deben apoyar las áreas cuando se generen dudas, con respecto a la información de trazabilidad que contiene cada formato. La herramienta de medición tiene claramente identificados los campos que deben ser diligenciados por cada uno de los responsables en color gris.

Es importante diferenciar el Nº de cuarto de almacenamiento en el campo de trazabilidad, dado que ante alguna anomalía en el proceso se pueda detectar si esta tiene causa directa proveniente de alguno de los cuartos derivado de su funcionamiento y conservación de temperatura. De igual manera con el tipo de

animal dado que esta variable discreta puede incidir por causas especiales en la variabilidad de la merma y el cumplimiento de sus especificaciones.

9.2. Análisis de datos

Una vez se realice la recolección de la información, se debe diligenciar las casillas de datos propias de cada formato. Para el control de merma y tiempo, se diligencia las casillas correspondientes al peso de la canal antes y después de entrar al cuarto de refrigeración, esto con el fin calcular la merma generada durante la estancia en los cuartos. Para el tiempo, se debe diligenciar las casillas correspondientes a la fecha y hora tanto de ingreso como de salida, para calcular el tiempo de refrigeración a la que fue sometida la canal. En la siguiente tabla, se ilustra el campo correspondiente al formato control merma y tiempo.

Tabla XV. Campo destinado para las variables Merma y Tiempo de Refrigeración

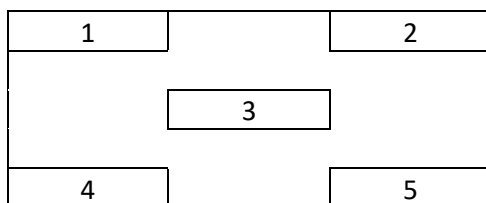
TIEMPO			PESOS CUARTO FRÍO		
Tiempo Entrada	Tiempo salida	Tiempo de Refrigeración	Peso Entrada	Peso salida	Merma

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al formato control de temperatura, se debe digitar las cinco temperaturas obtenidas de las diferentes ubicaciones del cuarto de refrigeración, para lograr una muestra representativa, es decir que por cuarto se debe escoger

cinco canales de diferentes puntos para la medición de la temperatura, a través de un termómetro, cada dos horas como se ha venido haciendo en la práctica. Este esquema de muestreo se establece con base al registro que se realiza actualmente, en la empresa para esta variable. El esquema de muestreo de la temperatura se presenta en la siguiente ilustración.

Ilustración XXIV. Esquema de muestreo de la Temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar la medición de la temperatura con el respectivo muestreo, se debe registrar en el campo de temperaturas correspondiente a cada ubicación, que se encuentra en el formato de control de temperatura. Las casillas de temperatura promedio y desviación se encuentran formuladas para que automáticamente se digiten los datos, estas se calculen y arrojen el respectivo resultado. En la siguiente tabla, se logra visualizar el campo destinado para el registro de las temperaturas.

Tabla XVI. Campo destinado para el registro de las Temperaturas.

TEMPERATURAS						
T ° Ubicación 1	T ° Ubicación 2	T ° Ubicación 3	T ° Ubicación 4	T ° Ubicación 5	Temperatura Promedio	Desviación

Fuente: Elaboración propia.

Para el formato de inventario de canales en cuarto de refrigeración, se registra las entradas y las salidas al cuarto, cada vez que se generen, para calcular el saldo, se realiza una operación simple que resulta ser, las entradas menos las salidas. Adicional al conteo de las canales, se propone registrar la temperatura del cuarto para realizar un registro y seguimiento de este. En la siguiente tabla, se ilustra el campo de inventario correspondiente al formato control merma y tiempo.

Tabla XVII. Campo destinado al Inventario de las Canales.

[illegible]

Fuente: Elaboración propia.

9.3. Monitoreo de las variables

La herramienta de medición, tiene como objetivo principal permitir el monitoreo de la merma y las variables que influyen en su variabilidad en tiempo real para determinar cuándo se encuentran por fuera de control, es decir fuera del rango de valores aceptables para cada variable. De esta manera, el personal involucrado logra estar atento sobre el comportamiento del proceso y poder monitorear la estabilidad del mismo y la capacidad para cumplir con las especificaciones.

Los histogramas, graficas de control e indicadores de capacidad son herramientas que logran ajustarse a las necesidades de monitoreo de la estabilidad del proceso, ya que muestra el centrado o la variabilidad de la característica monitoreada (histogramas), los cambios que puedan suceder en tiempo real (graficas de control) y la capacidad del proceso para cumplir con especificaciones (histogramas con límites de especificación e Índices de capacidad).

Cada pestaña de monitoreo, cuenta con el análisis numérico, como lo son: media, desviación y/o rango según el caso, límites reales, límites de especificación, índices de capacidad. También se encuentra en cada pestaña el análisis gráfico, que está conformado por: un histograma y una carta de control, con el fin de representar el monitoreo con más claridad y de fácil manejo para el respectivo usuario.

Para el control de las variables Merma, Tiempo de refrigeración y Capacidad de almacenamiento, es apropiado la utilización de graficas de control individuales para un seguimiento más exacto en tiempo real, puesto que dado un dato fuera de especificaciones, se puede determinar con mayor facilidad las causas de variación provenientes de las variables influyentes conociendo su trazabilidad. En este caso no tiene sentido práctico agrupar datos para formar una muestra o subgrupo y poder instrumentar una carta $\bar{X}$ - R, por lo que la mejor alternativa para controlar estas variables críticas mediante una carta de control es usar un tamaño de muestra $n= 1$ en donde se detecten los cambios significativos en la media del proceso y cambios significativos en la amplitud de la dispersión.

Para la variable de temperatura de la canal, se propone la utilización de una carta de control $\bar{X}$ - R Con las mediciones de cada subgrupo de temperaturas definido para un tamaño de muestra de cinco canales en las ubicaciones establecidas anteriormente y tomadas en intervalos de cuatro horas. Se calculará la media y el rango, de modo que cada periodo de tiempo se tendrá una media y un rango muestral que aportarán información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso, respectivamente. Con la carta $\bar{X}$ se analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para detectar cambios en la media del proceso, mientras que con la carta R se analiza la variación entre los rangos de los subgrupos de temperatura, lo cual permite detectar cambios en la amplitud de esta variable para tomar las acciones correctivas pertinentes con el fin de estabilizar el proceso y garantizar el cumplimiento de las especificaciones.

Para cada una de las variables propuestas en este sistema de medición, monitoreo y control se establecen los índices de capacidad C_p , C_{pi} , C_{ps} y C_{pk} con el objetivo de conocer la amplitud de la variación natural de éste para cada variable crítica, lo cual permitirá saber en qué medida dicha variable es satisfactoria (si cumple o no con las especificaciones).

Estos índices son calculados por la aplicación de Excel, la cual determina cada uno de los valores para los índices de capacidad establecidos y formulados de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma}$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

- Interpretación del índice C_p : para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada, es decir, que el índice sea mayor a uno ($C_p > 1$), de lo contrario, es una evidencia clara que la variable no cumple con las especificaciones establecidas.
- Interpretación del índice C_{pi} y C_{ps} : se pretende evaluar por separado el cumplimiento de la especificación inferior y superior teniendo en cuenta la media de la variable crítica que se está midiendo, con el fin de determinar si esta variable tiene la capacidad de ajustarse a los límites unilaterales definidos e identificar causas especiales de variación que influyan en que los datos se inclinen mayormente hacia uno de los límites de especificación. Si alguno de los índices es menor a uno, esto indica que la variable no tiene la capacidad de cumplir con esa especificación, puesto que en algunos

casos la variable puede cumplir a cabalidad con el límite inferior y no tener la capacidad de cumplir con el límite superior, y viceversa, por lo que se deberá buscar las acciones de mejora precisas para el caso

- Interpretación del índice C_{pk} : es importante evaluar la capacidad de corto plazo del proceso, considerando tanto su ubicación como su dispersión. Por tanto, éste índice representa una versión corregida de C_p puesto que si toma en cuenta el centrado del proceso. Se espera que su valor sea superior a uno ($C_{pk} > 1$) siendo el valor mínimo entre el C_{pi} y C_{ps} , es decir, es igual al índice unilateral más pequeño. Se compara si el C_p y el C_{pk} son aproximadamente iguales, entonces esto indica que el proceso está centrado entre los límites de especificación. Si el C_p y el C_{pk} son diferentes, entonces el proceso no está centrado.

Continuando con el análisis gráfico, el histograma permite examinar visualmente si los datos son aproximadamente normales, si los datos varían considerablemente respecto de la curva normal, esto indica que los datos podrían no ser normales y las estimaciones de capacidad podrían no ser fiables para el proceso.

Así mismo, se examina de manera visual los datos en el histograma en relación con los límites de especificación inferior y superior. Lo ideal es que la dispersión de los datos sea más estrecha que la dispersión de especificación y que todos los datos estén dentro de los límites de especificación. Los datos que están fuera de los límites de especificación representan elementos no conformes. Se evalúa si el proceso está centrado entre los límites de especificación, de lo contrario se debe tomar medidas para controlar la variable que se encuentra fuera de las especificaciones.

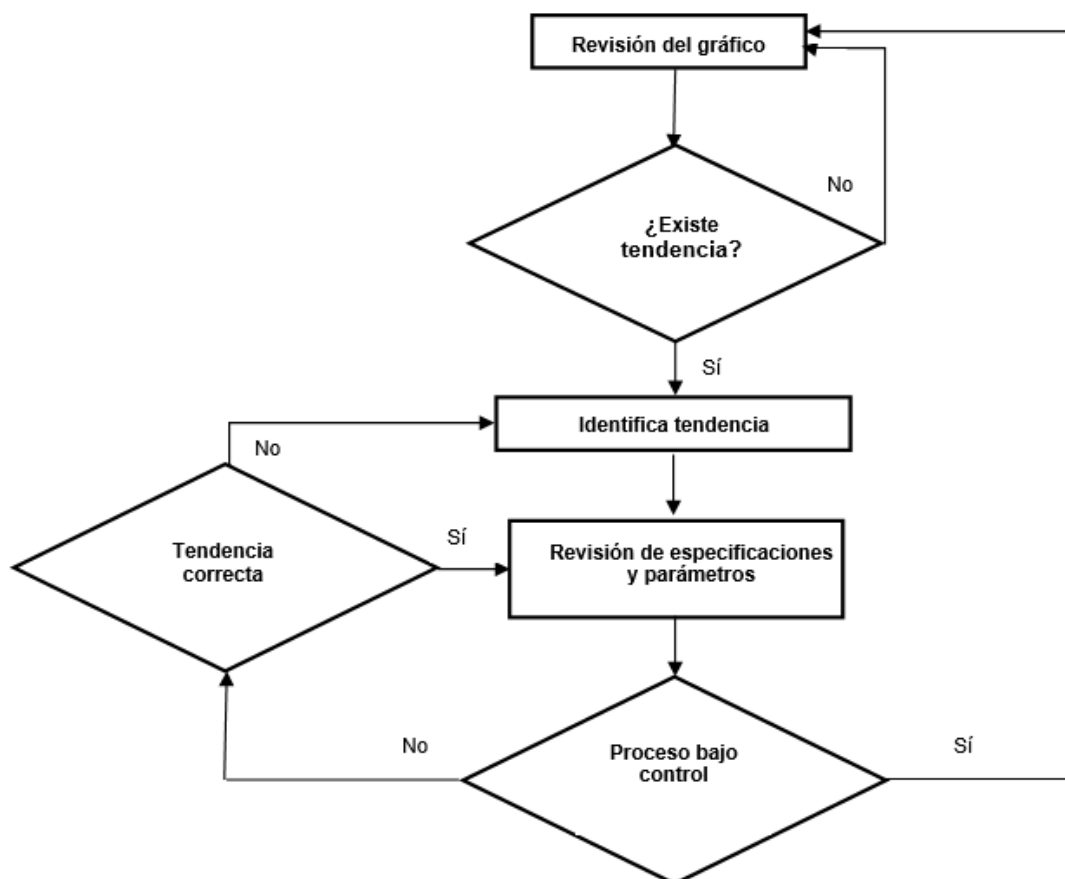
Cabe resaltar, para las cuatro pestañas de monitoreo, no hace falta digitar algún dato, ya que como se ha dicho cada una cuenta con un formato de registro de los datos recolectados, que realiza la función de base de datos para cada pestaña de monitoreo y las fórmulas necesarias para el cálculo de las gráficas de histograma y carta de control se encuentran anclados.

9.4. Procedimiento para el monitoreo de variables

9.4.1. Identificación

La variabilidad de los procesos como se ha dicho a lo largo de este estudio es de carácter inevitable. Sin embargo, controlar el proceso es esencial para un buen desempeño de su comportamiento. Para identificar cuando el proceso esta fuera de control, se debe analizar la tendencia de los datos recolectados a través del sistema de medición, por lo que es necesario revisar cuando el proceso esta por fuera de especificaciones en la merma y en cada una de sus variables influyentes.

Ilustración XXV. Esquema para reconocer proceso bajo control



Fuente: Elaboración propia.

Este ciclo de revisión permite que todos los gráficos y parámetros del sistema de control tomen un papel importante dentro del sistema propuesto, no solo porque

son la visualización del desempeño de cada variables sino también porque el carácter preventivo de su funcionamiento facilita, por un lado, la aplicación de acciones correctivas pertinentes sobre las variables influyentes, y por otro lado, la optimización del tiempo y demás recursos disponibles para el control de la merma en el proceso.

9.4.2. Orientación a las acciones correctivas

Cuando se haya identificado que el proceso está fuera de control, se debe determinar un procedimiento que indique las acciones a tomar para saber cómo actuar frente a las novedades del proceso.

El sistema de medición, análisis y control diseñado para el monitoreo de la merma y de las variables influyentes, debe ser examinado de la siguiente manera para facilitar el entendimiento de la situación cuando el proceso está fuera de control.

En primera instancia, se debe visualizar la pestaña correspondiente al control de la variable merma, por ser la variable de mayor importancia tanto para la empresa, como para el cliente. Se analiza el histograma, los valores de especificación, la carta de control y los índices de capacidad para identificar si el proceso está bajo control y dentro de los límites de control. En caso de que la merma, este presentando una tendencia fuera de especificaciones, se procederá a detallar las variables influyentes, en el orden de influencia hacía la merma que se introdujo en el capítulo anterior. De la misma manera que se analiza la variable merma, se procede a revisar cuál de las variables influyentes (tiempo de refrigeración, cantidad de almacenamiento y temperatura) está por fuera de control y determinar las causas que se estén presentando las anomalías. Por lo tanto, se presenta un formato para registrar y estudiar las anomalías que ocurren en el proceso. El cual se debe diligenciar, registrando la información solicitada en cada campo

Ilustración XXVI. Formato estudio de anomalías

FORMATO ESTUDIO DE ANOMALIAS				
DESCRIPCIÓN DE LA ANOMALIA PRESENTADA				
ENUMERE LAS POSIBLES CAUSAS DETECTADAS (LLUVIA DE IDEAS)				
CAUSAS MÁS PROBABLES				
<pre> graph LR MT[Métodos de trabajo] --- J1(()) MO[Mano de obra] --- J1 M[Materiales] --- J1 J1 --- J2(()) Ma[Maquinaria] --- J2 Me[Medición] --- J2 J2 --- J3(()) Med[Medio ambiente] --- J3 J3 --- E[] </pre>				
CAUSAS FUNDAMENTALES				
PLAN DE ACCIÓN				
QUE	COMO	CUANDO	QUIEN	CON QUE

Fuente: Elaboración propia.

El anterior formato se debe diligenciar, registrando la información solicitada en cada campo. Primero, se identifica y se describe la anomalía presentada. Posteriormente, se debe realizar una lluvia de ideas para detectar las causas posibles a la situación y en base a esto se realiza un diagrama de causa y efecto, para detallar las causas fundamentales a la anomalía. Por último, se establece el plan de acción para controlar la anomalía, desagregando de manera ordenada las actividades y responsabilidades.

El estudio de anomalías permite hacer partícipes a los involucrados del proceso y contribuir a la gestión de acciones correctivas para el control de las variables que no cumplen con las especificaciones establecidas, y así mismo, facilitar la orientación a la mejora de la capacidad del proceso.

10. CONCLUSIONES

La caracterización del proceso de beneficio de ganado bovino y bufalino de la empresa dentro de este estudio permitió obtener una visión sistémica del funcionamiento de la misma e identificar condiciones especiales a las que no se les da un tratamiento adecuado puesto que no se había determinado una influencia directa sobre la merma de las canales, y de esta manera proponer el sistema de medición, análisis y control para cada una de las variables definidas como influyentes que permita mejorar la variabilidad de la merma y su capacidad de cumplimiento a las especificaciones requeridas.

El proceso de medición debe ser completamente flexible, permitiendo así una rápida adaptación a los cambios de la estrategia operativa, emitiendo una señal de alerta que permita identificar las causas y puntos sobre los cuales focalizarse y partir de estos determinar cuáles deben ser las acciones que debe tomar las áreas de despacho y calidad, para contribuir al alcance de cumplimiento del proceso de producción.

Los resultados obtenidos en la investigación sobre la variabilidad de la merma de peso de las canales post refrigeración, determinan y clasifican de mayor a menor grado de influencia todas las variables evaluadas como posibles influyentes de la merma: en primer lugar, se encuentra el tiempo de refrigeración como variable de mayor influencia con una relación lineal positiva; en segundo lugar, se determina la cantidad de canales almacenadas en el mismo cuarto de refrigeración y con una relación parabólica positiva con respecto a la variable en estudio; y en tercer lugar, la temperatura final de las canales con un comportamiento inversamente proporcional a la merma. Los coeficientes de correlación obtenidos para estas variables en valores absolutos son 0,76; 0,71; 0,67 respectivamente.

La estructura propuesta para la medición, análisis y control de las variables del proceso, conllevó a la necesidad de plantear una estandarización de formatos y unificación de datos para una inspección continua de las variables del proceso, por lo que se requiere reunir y relacionar las variables identificadas como influyentes en el proceso, y que al mismo tiempo contribuyen a una mejora de la gestión documental de la empresa.

Las ventajas de analizar las variaciones de los factores influyentes que inciden en el comportamiento de la merma y descubrir la correlación existente entre las

variables; generó un procedimiento de control estadístico de calidad donde se verificó que efectivamente que el proceso se encontraba por fuera de especificaciones.

El alcance de este trabajo de investigación se limita únicamente a las variables medibles y controlables dentro de todo el proceso de beneficio, puesto que siendo una empresa cuyo principal insumo son animales en pie, se pueden atribuir muchas características fisiológicas a la variabilidad de la merma que no son objeto de estudio de ingeniería industrial.

11. RECOMENDACIONES

La adopción de un modelo estandarizado para el control estadístico dentro del proceso en la empresa facilitará el monitoreo en tiempo real para las variables del proceso. Se recomienda continuar con la siguiente etapa de implementación de un sistema de control estadístico de procesos apoyado en el sistema de medición y monitoreo propuesto en este proyecto, para poder lograr el propósito de disminuir la variabilidad de la merma, que resulta ser de gran importancia tanto como la empresa de sacrificio y beneficio, como para el cliente que espera el mayor rendimiento del ganado en canal.

Es importante establecer un enfoque de medición como iniciativa de cambio. Un cambio de procesos en el registro y procesamiento de la información, pero fundamentalmente un cambio de cultura, en los hábitos y comportamiento de las personas frente al mejoramiento de los procesos, y la toma de decisiones basada en mediciones objetivas.

Una vez identificado el cuarto uno (1) como mayor generador de merma, se recomienda realizar una revisión y mantenimiento para este cuarto, con el fin de identificar y corregir causas de variación especiales que impiden mantener estables las condiciones de refrigeración y por tanto las medidas de tendencia central de la merma en todos los cuartos.

La implementación de un sistema de medición y control en el proceso no garantiza una mejora significativa para la variabilidad de la merma, se hace necesaria la inclusión y capacitación de todo el personal involucrado en el proceso para el correcto manejo e interpretación de las cartas de control, índices de capacidad y herramientas utilizadas en el sistema, así como también las acciones a tomar para controlar las irregularidades e inconsistencias de la variable en estudio.

Futuras investigaciones podrían evaluar la técnica de diseño de experimentos, teniendo en cuenta la recolección de datos en tiempo real mediante pruebas, lo cual requiere trabajo de campo. Esto sería de gran interés para las empresas del sector que pretendan una mejora continua en sus procesos con un sistema de medición, análisis y control, teniendo una base de información recolectada de manera estandarizada propuesta en este documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. A., & Serrano, I. D. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de control estadístico de procesos en la empresa FORCOL LTDA*. Bucaramanga.
- Arboleda, J. (2015). *Estudio de Mejora del Proceso de Soldadura de Soldame del Valle S.A.S a Partir de Análisis y Diseño de Experimentos*.
- Arcones, M. A., & Wang, Y. (2006). Some new tests for normality based on U-process. *Statistics and Probability Letters*, 69-82.
- Botero, M., Arbélaez, O., & Mendoza, J. (2007). *Método ANOVA Utilizado para Realizar el Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad Dentro del Control de Calidad de un Sistema de Medición*.
- Climaco, R., A.S., B., Locquet, N., Schmidtke, L., & Rutledge, D. (2009). Improving the Detection of Significant Factors Using ANOVA-PCA by Selective. *Analytica Chimica Acta*, 131-142.
- DANE. (2012). *Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Número 4 de octubre*.
- DANE. (2018). *Encuesta de sacrificio de ganado (ESAG)*.
- Deming, W. (1986). *Out of the Crisis*. Cambridge, Massachusetts: Mass.
- Devore, J. L. (2005). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia* (Sexta ed.). Ciudad de México, México: Thomson Learning
-
- Duarte, J. L. (2011). *Série monográfica qualidade projeto de experimentos*. Rio Grande do Soul.
- FAO. (2014). *Colombia en una mirada*.
- Gonzales, F. H. (1986). *Estudios sobre acrne bovina en Colombia*. Villavicencio: ICA Informa.
- Gonzalez, F. L. (2016). *Lenguaje R: Un complemento libre las asignaturas de estadísticas*. México D.F.

- Grau, R. (1995). Carne y productos carnicos.
- Gutierrez, H. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. McGraw-Hill.
- Hoyos, W., & González, O. F. (2011). *Planteamiento de Propuestas Conducen-tes a la Reducción de la Merma del Peso de los Pollos en las Plantas de Procesamiento del Sector Avícola*.
- ICBF. (2015). *Plato saludable de la familia Colombiana*.
- Ishikawa, K. (1994). *Introducción al Control de Calidad*. Diaz de santos.
- Jackson, H. K., & Frigon, N. L. (1998). *Fulfilling Customer Needs: A Practical Guide to Capacity Management*. John Wiley & Sons.
- Juran, J. M., Gryna, F., & Bingham, R. S. (1983). *Manual De Control de Calidad*. Reverte.
- Kume, H. (1993). Métodos estadísticos para la mejora de la calidad. En H. Kume. Sao paulo: Gente.
- Maldonado, R., & Graziani, L. (2007). *Herramientas Estadísticas de la Calidad Para la Diagnósis: Estudio de un Caso en la Industria de Productos Cárnicos*.
- Martínez, C. (2012). Regresión y Correlación. En *Estadística y Muestreo* (Décimo tercera ed., págs. 569-581). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Montgomery, D. (2010). *Control Estadístico de la Calidad*. México: Li musa.
- Pedroza, I., Basterredxea, J., & Robles, A. (2015). *Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿Qué estadístico utilizar?* Oviedo.
- Pierdant, A., & Rodríguez, J. (2009). *Control estadístico de la Calidad de un Servicio Mediante Gráficas X y R*.
- Romero, M. (2016). Pruebas de Bondad de Ajuste a una Dsitribución Normal. *Enfermería del Trabajo*, 105-114.

- Ruiz, A., & Rojas, F. (2006). *Control estadístico de procesos*. Universidad Pontificia Comillas Madrid, Madrid.
- Salazar, L. (2009). *EVALUACIÓN Y RENDIMIENTO EN CANALES DE RES Y DE CERDO E IMPACTO ECONÓMICO EN LA INDUSTRIA CÁRNICA*. Colombia.
- Saldaña, M. R. (2016). Pruebas de Bondad de Ajuste en una Distribución Normal. *Enfermería del trabajo*, 105-114.
- Steinskog, D. J., & Kvamsto, N. G. (2007). A cautionary note on the use of the Kolmogorov-Smirnov test for normality. *Monthly Weather Review*, 1151-1157.
- Stephens, M. (1974). EDF statistics for goodness of fit and some comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 6(347), 730-737.
- Thompson, J., & Koronacki, J. (2002). *Control estadístico de procesos: El paradigma de Deming y mas allá* (Segunda ed.). Chapman & Hall.
- Walpole, R. E., Myers, R., & Ye, K. (1990). Regresión lineal simple y Correlación. En *Probabilidad y estadística para ingenieros* (Novena ed., págs. 389-430). Ciudad de México, México: Pearson.

ANEXOS

Anexo I .Factores para la construcción de las cartas de control

TAMAÑO DE MUESTRA, n	CARTA $\bar{X}$ A_2	CARTA R			CARTA S c_4	ESTIMACION DE σ d_2
		d_3	D_3	D_4		
2	1.880	0.853	0.0000	3.2686	0.7979	1.128
3	1.023	0.888	0.0000	2.5735	0.8862	1.693
4	0.729	0.880	0.0000	2.2822	0.9213	2.059
5	0.577	0.864	0.0000	2.1144	0.9400	2.326
6	0.483	0.848	0.0000	2.0039	0.9515	2.534
7	0.419	0.833	0.0758	1.9242	0.9594	2.704
8	0.373	0.820	0.1359	1.8641	0.9650	2.847
9	0.337	0.808	0.1838	1.8162	0.9693	2.970
10	0.308	0.797	0.2232	1.7768	0.9727	3.078
11	0.285	0.787	0.2559	1.7441	0.9754	3.173
12	0.266	0.778	0.2836	1.7164	0.9776	3.258
13	0.249	0.770	0.3076	1.6924	0.9794	3.336
14	0.235	0.763	0.3281	1.6719	0.9810	3.407
15	0.223	0.756	0.3468	1.6532	0.9823	3.472
16	0.212	0.750	0.3630	1.6370	0.9835	3.532
17	0.203	0.744	0.3779	1.6221	0.9845	3.588
18	0.194	0.739	0.3909	1.6091	0.9854	3.640
19	0.187	0.734	0.4031	1.5969	0.9862	3.689
20	0.180	0.729	0.4145	1.5855	0.9869	3.735
21	0.173	0.724	0.4251	1.5749	0.9876	3.778
22	0.167	0.720	0.4344	1.5656	0.9882	3.819
23	0.162	0.716	0.4432	1.5568	0.9887	3.858
24	0.157	0.712	0.4516	1.5484	0.9892	3.898
25	0.153	0.708	0.4597	1.5403	0.9896	3.931

Fuente: Gutierrez (2009)

Anexo II. Formato control de Merma y Tiempo

[illegible]

Fuente: Elaboración propia.

Anexo III. Formato control temperatura

[illegible]

Fuente: Elaboración propia.

Anexo IV. Formato de control cantidad de almacenamiento

[illegible]

Fuente: Elaboración propia.