

PLANTEAMIENTO DE PROPUESTAS CONDUCENTES A LA REDUCCIÓN DE LA MERMA DEL PESO DE LOS POLLOS EN LAS PLANTAS DE PROCESAMIENTO DEL SECTOR AVÍCOLA

W. Hoyos Torres, O. F. González Casallas, *Facultad de Ingeniería Industrial, UPB Bucaramanga*

Recibido diciembre 14, 2010 – Aceptado marzo 3, 2011

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v5n1.a01>

Resumen—Este artículo presenta el análisis, bajo la aplicación de los métodos de diseño experimental, del comportamiento de la merma de peso de los pollos durante el procesamiento de éstos en las plantas de sacrificio avícola. Lo anterior, con el propósito de controlar los costos variables del sistema de producción de las plantas de sacrificio; adicionalmente, se considera el uso del control estadístico de procesos con el propósito de hacer monitoreo de los factores críticos que inciden en el comportamiento de la merma de peso. La investigación permite establecer una metodología cuantitativa para definir los posibles escenarios en los cuales se mantenga el control de los costos relacionados con la merma de peso de las aves. Finalmente, el éxito de dicha metodología plantea recomendaciones de carácter logístico y operativo en las plantas de sacrificio avícola de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

Palabras clave— Diseño Experimental, Control estadístico de procesos, Merma de peso, plantas de sacrificio, sector avícola.

Abstract—/ This article analyzes broiler weight loss during their processing at the poultry abattoir based on the application of experimental design methods. The objective is to control variable costs in the abattoir production system. The article also focuses on process statistical control in order to monitor the critical factors influencing weight loss and on the design of a quantitative methodology to determine possible scenarios for the maintenance of weight loss cost control. Finally, some logistic and operational recommendations for poultry abattoirs in the city of Bucaramanga and its metropolitan area are proposed..

Keywords— Experimental design. Statistical Process Control. Broiler weight loss. Abattoir. Poultry sector.

I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento conducente a la obtención de productos alimenticios para la comunidad es una

ardua tarea para las empresas encargadas de dicho proceso. Con respecto al sector avícola, un factor latente que genera altos costos de producción se debe a la pérdida, durante la realización de las actividades de procesamiento, de la cantidad de producto final (en kilogramos) de pollo procesado para el consumo. Las operaciones referentes a la producción y proceso logístico de almacenamiento y transporte del producto terminado son los puntos clave donde se pueden presentar alteraciones en la reducción de peso del pollo.

La pérdida de la cantidad (en kilogramos) de pollo, se debe a variables del entorno que influyen durante los procesos de fabricación y distribución. Por ejemplo, está el nivel de la temperatura, hidratación del producto, evisceración del pollo, sistema de desprese de aves, entre otros. La pérdida del peso del pollo es conocida dentro del sector avícola como nivel de merma de peso del pollo.

Desde el punto logístico, el problema de la merma del pollo se presenta desde el momento en que el producto llega a las plataformas de descargue de la planta de procesamiento hasta que se procede con el respectivo proceso de empaclado. Una referencia de este problema es, por ejemplo, que para una planta que tenga una producción diaria de sesenta mil pollos, el costo inducido por el problema de las mermas de peso en el producto está alrededor de \$ 150.000.000 millones de pesos mensuales.

La finalidad de esta investigación radica en el planteamiento de diversas propuestas estructuradas de mejoramiento, en la merma de peso, con base en el análisis de la información a través de diseños experimentales.

II. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA INVESTIGACIÓN

La finalidad de esta investigación consistió en proponer diversos escenarios para la realización de los procesos en las plantas de procesamiento de pollos del sector avícola, y analizar los resultados de cada

¹W.Hoyos Torres, Ingeniero Industrial, MBA Tulane Icesi. Teléfono 301-7895514. e-mail: william.hoyos@upb.edu.co

²O. F. González Ingeniero Industrial, M.Sc. de la Universidad de Los Andes 2009. Teléfono 320-2624862. e-mail: orlando.gonzalez@upb.edu.co

escenario con el fin de elaborar propuestas conducentes a la reducción del costo de la merma de peso en el producto final. Con base en lo anterior, se utilizó la siguiente metodología de trabajo:

A. Selección de la planta piloto para realizar el estudio

En esta fase se procedió con la selección de una planta de procesamiento de pollos como caso de estudio para aplicar la metodología Taguchi con la finalidad de reducir y controlar la merma de peso del producto. Con base en lo anterior, el criterio de selección se basó en una planta con una producción real promedio actual de 60.000 pollos al día y en un nivel de desperdicio de merma del peso del pollo cuantificado en \$ 150.000.000 al mes.

Una vez definida la empresa como caso piloto, se llevaron a cabo reuniones con los directivos de la planta, donde se definieron los procesos a los cuales se les realizó el estudio; es decir, se definieron los factores de control para el desarrollo del diseño experimental. Dentro de la disertación con los directivos, se recalcó la importancia de analizar el procesamiento de los pollos con base en los costos que se generan por la merma de peso.

B. Recolectar información de las variables involucradas en el problema

Seleccionada la planta de procesamiento para el estudio piloto; se realizaron visitas al sitio con el propósito de recolectar información. Lo anterior permitió definir las variables críticas que influyen en la variación de la merma de peso durante el procesamiento del pollo.

C. Análisis y depuración de la información

En los procesos de recolección de información, fue importante conocer que datos eran relevantes para el contraste de variables. Fue importante la identificación de datos sesgados o atípicos que pudieron alterar los resultados de la investigación; por lo tanto, una vez que se identificó algún sesgo de información, se procedió con la depuración de ésta para minimizar y controlar los posibles errores en la aplicación de la metodología de los diseños experimentales.

D. Diseño de procesos mediante la Metodología Taguchi

Con la definición de las variables críticas se aplicó la metodología de diseños experimentales para realizar el contraste de dichas variables; para esto se recurrió al

análisis de varianza, y posteriormente se procedió con las conclusiones sobre los aspectos relevantes para controlar la merma durante el procesamiento del pollo.

E. Propuesta de escenarios de mejoramiento de los procesos

La interrelación de variables obtenidas mediante la metodología de diseños experimentales, permitió establecer escenarios conducentes al control de las mermas. En este punto de la investigación, se presentará evidencia a los directivos con la finalidad de identificar la mejor propuesta de mejoramiento de los procesos en la planta de sacrificio.

F. Estudio de la situación actual

En forma paralela con el proceso de identificación de variables y aplicación de los diseños experimentales; se consideró una descripción actual del procesamiento de los pollos en la planta piloto. Se identificaron las actividades de cada proceso y las posibles variables involucradas en la generación de la merma de peso.

G. Contraste de la situación actual y los escenarios propuestos

La comparación de los escenarios propuestos mediante el diseño experimental y la situación inicial, permitió concluir las posibles mejoras en los procesos y la cuantificación de los beneficios en función de cada escenario. Esta actividad fue la parte final de proyecto de investigación.

III. MARCO TEÓRICO

El Sector avícola se ha movilizó en el contexto nacional e internacional; como consecuencia directa, en el contexto de la globalización, la permanencia de las empresas en el mercado depende directamente de su nivel de productividad, el cual, se manifiesta en el logro de costos competitivos. Por esta razón, las empresas del sector avícola deben direccionar todos sus recursos al mejoramiento de sus procesos para alcanzar una posición competitiva en el mercado.

Una de las expectativas más importantes en los negocios del sector avícola es lo que pueda suceder si se aprueba el Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos. En este caso, se predice que llegará una fuerte competencia en el mercado de productos avícolas del País.

De acuerdo a lo anterior, para el negocio avícola es

esencial asegurar cada gramo de producto. El procesamiento de las aves, que es la parte final de la cadena productiva, merece especial atención ya que se trata de convertir la materia prima (pollo vivo) en carne para el consumo, ajustando las pérdidas de peso inherentes al proceso a un valor razonable dentro de los parámetros establecidos, con el fin de asegurar costos competitivos de elaboración del producto que les permita a dichas empresas hacer parte presente en el mercado, obteniendo beneficios que garantice su sostenibilidad en periodos futuros.

A. *Procesamiento industrial del pollo*

En el proceso de obtención de lo pollo para consumo humano, es importante considerar los siguientes aspectos relevantes:

1. Los pollos en su etapa de crecimiento deben estar en los galpones en óptimas condiciones de alimentación y medio ambiente. Esto permite que se obtenga durante el proceso, un producto con calidad, mayor peso y textura.
2. Seguidamente, se procede con el envío de los pollos a las plantas de sacrificio, donde se procesa y se obtiene el producto final que será enviado a los puntos de distribución.
3. Finalmente, es importante el proceso de distribución de los productos obtenidos a los diversos centros de distribución y comercialización. El tipo de transporte y el mecanismo de conservación del producto a una temperatura adecuada, inciden en la calidad final del producto.

Con base en lo anterior, se puede establecer que dentro del proceso de la cadena de suministro del pollo, es imperativo la contextualización de la trazabilidad del producto; ya que según las condiciones en que se encuentre el producto en las tres fases generales de distribución, se puede obtener pérdidas que son traducidas en costos para la empresa. La investigación que se presenta en este artículo se centrará en el proceso de obtención de los productos en las plantas de sacrificio del sector avícola de Bucaramanga y su área metropolitana.

B. *Procesamiento industrial del pollo*

Las plantas de sacrificio en el sector avícola se deben entender como una locación física donde se procede con la transformación del pollo vivo en carne para consumo humano. Es imperativo que en el proceso de obtención del producto final, se considere la inocuidad del producto, traducida en el nivel de

calidad del producto percibido por el consumidor final [1].

El avance de los proceso con base en la innovación tecnológica, así como el proceso de localización de las plantas de sacrificio, las cuales deberían estar cerca a los galpones; contribuyen a un crecimiento rentable de las empresas que constituyen dicho sector. En la medida en que se reconozca este aspecto, se obtendrá una mejor definición de los subprocesos secuenciales que se presentan en las plantas de sacrificio. Los subprocesos que constituyen el proceso de obtención de carne para consumo humano, se presenta en la [Fig. 1].

1. Recepción: en la fase inicial del proceso, las aves llegan a las plantas de sacrificio a través de unos huacales plásticos que son transportados en camiones desde los galpones. Es necesario que las condiciones de llegada sean las adecuadas para cumplir con los requerimientos de calidad del producto y su consecuente trazabilidad. Los huacales se movilizan dentro de la planta de sacrificio mediante el uso de unas bandas transportadoras hasta un sector donde serán colgadas en ganchos especiales, los cuales pueden soportar su peso.

2. Aturdido: una vez hecho el procedimiento de colgar a las aves en ganchos especiales; dichos ganchos se utilizan como medio de transporte hasta un dispositivo que conduce electricidad a las aves. Este procedimiento permite que las aves no reaccionen de manera violenta en el siguiente proceso. En este punto es importante la definición del voltaje y frecuencia de la corriente, según el peso de las aves; es decir, que se debe tener una relación directamente proporcional entre el peso del ave y el voltaje aplicado para el aturdimiento.

3. Desgüelle y desangre: el ave aturdida pasa a un proceso donde un operario secciona el cuello del ave a través de un cuchillo; esta operación se debe hacer de tal forma que el corte que se genere no sea demasiado profundo. La sangre del ave cae a un canal de desangrado donde es dirigida hasta unas canecas de plástico.

4. Escaldado: Después del desangrado, las aves se introducen en un baño de agua caliente con el propósito de ablandar las plumas dentro de un tanque de acero inoxidable. Es importante que la temperatura

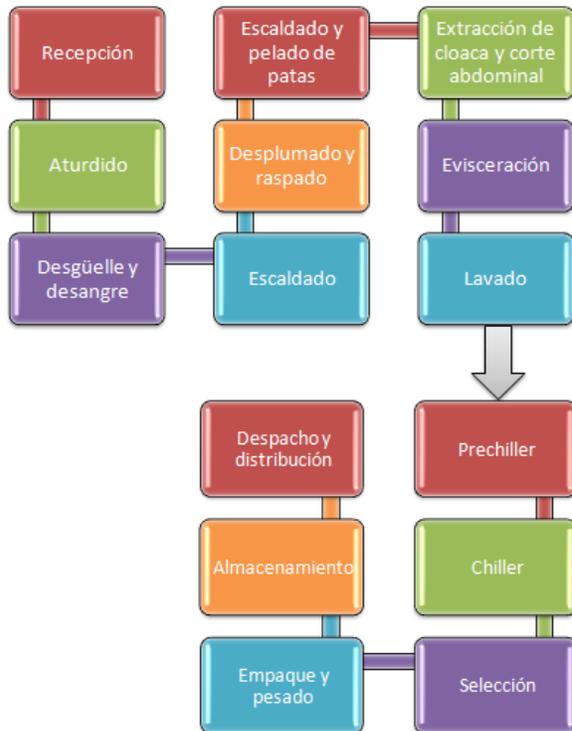


Fig. 1. Subprocesos en una Planta de Sacrificio del sector avícola.

del agua oscile entre los 50 y 60 grados centígrados, dependiendo del peso del ave.

5. Desplumado y raspado: en esta parte del proceso, las aves pasan por una máquina que permite retirar las plumas de la piel. Posteriormente, mediante unas cuchillas con movimiento giratorio, se cortan las patas de las aves. La máquina posee un flujo de agua que permite retirar la suciedad y la contaminación generada por dicho proceso.

6. Escaldado y pelado de patas: En esta actividad, las patas de las aves son transportadas a la escaldadora, peladora; después pasa por un sistema de transporte (bandas transportadoras) para realizar el proceso de selección de dicho producto. Posteriormente, se procede con el corte de la cabeza la cual tiene como destino final, las canecas de vísceras.

7. Extracción de cloaca y corte abdominal: una máquina se encarga de la perforación de la cloaca del ave, seguidamente otra máquina procede con el corte abdominal. Este proceso permite facilidad a la hora de extraer, de forma manual, la grasa abdominal.

8. Evisceración: una vez ocurrido el corte abdominal, las aves se transfieren al proceso de evisceración, el cual consiste en la extracción de la mayor parte de órganos que están contenidos en las cavidades y el cuello del ave. Generalmente este proceso se desarrolla mediante sistemas

automatizados.

9. Lavado: en el proceso de lavado se hace la separación del resto del ave y sus menudencias. Algunas menudencias son utilizadas como producto para la venta. El resto del ave es conducido a un sistema de enfriamiento, con el propósito de conservar el peso del ave.

10. Prechiller: Las aves son conducidas a una zona de refrigeración. La zona está constituida por un tanque semi-circular con paletas de mezclado, la cual contiene agua con hielo; esto permite que se obtenga una temperatura entre 19 a 21 grados centígrados. En algunas ocasiones, el agua se mezcla con una solución de cloro con el propósito de minimizar impurezas.

11. Chiller: del proceso de Prechiller, las aves son conducidas a los Chillers a través de ductos en acero inoxidable. Inicialmente, las aves entran a un primer Chiller que contiene agua y una solución de cloro, a una temperatura entre 7 y 8 grados centígrados. El proceso tiene una duración aproximada de 18 minutos.

A continuación, las aves son transportadas por unos canales al segundo Chiller; éste contiene agua y una solución de cloro a una temperatura entre 1.5 a 3 grados centígrados. El proceso tiene una duración promedio de 33 minutos, con el propósito de eliminar las cargas bacteriológicas que puedan estar contenidas en la carne de las aves.

12. Selección: Una vez terminado el proceso en el segundo Chiller, se procede con la selección mediante el pesaje de las aves. Las aves que no cumplan con las condiciones de pesaje se consideran como kilos descartados en el proceso. El descarte hace parte de la generación de mermas de las aves (pérdida generada por el procesamiento en la planta de sacrificio).

Las aves que cumplan con las condiciones de pesaje, se transportan a dos zonas especiales para obtener el producto final. Una primera zona es la de desprese, donde se hace el corte de las aves para su comercialización; la segunda se encarga de recibir el ave entera para su comercialización.

13. Empaque y pesado: Según la clasificación realizada en el proceso de selección; el ave se transporta a una zona donde es marinado. Esta operación consiste en mejorar la textura, jugosidad y sabor del ave, mediante la adición de fosfatos. Este proceso de marinado contribuye a la ganancia de peso del ave. Posteriormente se realiza el proceso manual de empaque, mediante bolsas individuales, y se procede con el pesaje del producto final a través de una báscula electrónica.

14. Almacenamiento: Los productos de desprese y ave entera que no están congelados, se almacenan en cuartos fríos con temperaturas muy cercanas a los cero grados centígrados. La carne que se encuentra

congelada, es almacenada en cuartos fríos a una temperatura que oscila entre los -12 y -18 grados centígrados.

15. Despacho y distribución: Al cumplirse el ciclo de almacenamiento de la carne de ave para consumo humano, se procede con las actividades logísticas de distribución, mediante transporte en camiones con sistema de refrigeración, para ser despachado a los centros de distribución y venta directa.

C. Diseños experimentales básicos y Diseños experimentales robustos

En los estudios donde se considera la suposición de fenómenos en un sistema, conlleva al cuestionamiento del investigador sobre la posibilidad de ocurrencia de dicho fenómeno. En tal caso, se induce dentro de la investigación, el proceso de incertidumbre frente al comportamiento del fenómeno. La estadística descriptiva ofrece una información sobre el comportamiento del fenómeno, según recolección de datos muestrales.

En la medida que se tenga una eficiente depuración de información con respecto al caso de estudio, se puede realizar suposiciones sobre la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dentro del caso de estudio. La estadística inferencial, permite analizar la información obtenida de una muestra con el propósito de conducir al investigador a establecer afirmaciones parciales sobre el fenómeno.

Se debe considerar dentro del proceso de incertidumbre, el estudio de una hipótesis estadística; ésta puede ser entendida como una afirmación sobre los valores paramétricos que describen una población o proceso, la cuál puede ser susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa de la población [2]. Lo anterior infiere que es necesario depurar la información obtenida de la muestra para definir de manera adecuada el tipo de diseño experimental en una investigación de carácter cuantitativo.

D. Diseños experimentales básicos

En este aspecto, el investigador debe realizar un estudio del fenómeno mediante la información de la media, varianza o desviación estándar de la información obtenida de la muestra representativa de la población. Con base en el análisis del fenómeno se define la Hipótesis Nula, es la hipótesis estadística que se considera inicialmente como la suposición más acertada; matemáticamente, se puede deducir que la hipótesis nula es la relación de igualdad entre el parámetro poblacional y el posible valor de análisis; y como consecuencia, se debe definir la hipótesis Alternativa, que es la hipótesis estadística que

contradice la suposición establecida en la hipótesis nula; matemáticamente, la hipótesis alterna se puede considerar como una relación de desigualdad o cotas superior e inferior, con respecto al posible valor de análisis.

Dependiendo de la cantidad de parámetros, se debe identificar el tipo de diseño de experimental más adecuado para realizar el análisis de la información.

E. Diseños experimentales robustos (Metodología Taguchi)

Los diseños experimentales han tenido aplicabilidad en las etapas de diseño de productos y procesos dentro de las organizaciones; por lo tanto, el empalme del uso de herramientas estadísticas en el control de calidad ha permitido el control y minimización de la variación de desempeño de muchos procesos industriales [3]. La metodología Taguchi sigue esta filosofía, la cual se puede entender mediante las siguientes fortalezas contrastadas con la utilidad de los diseños experimentales:

1. Se considera la calidad durante la etapa de diseño de productos o procesos.
2. Considera la importancia de factores críticos que pueden afectar al producto o procesos.
3. Se centra en el diseño de parámetros que conduzcan a la minimización y control de variabilidad en el desempeño de productos y procesos.
4. Es una herramienta que permite proponer mejoras en los procesos y productos ya existentes dentro de la organización.

Por lo tanto, los diseños experimentales propuestos por Taguchi, se caracterizan por definir dos grupos experimentales; por un lado se considera el diseño de experimentos de los parámetros, lo cual es conocido como arreglo interno del experimento; y por el otro, se considera el diseño de experimento de los factores de ruido (alteraciones que se presentan en el desarrollo del experimento), el cual se conoce como arreglo externo [4].

En [5], se propone una metodología general para el diseño experimental robusto orientado al control de procesos. Dicha metodología se puede sintetizar en los siguientes aspectos:

1. Suponen que los usuarios de los métodos robustos poseen cierto entendimiento del proceso estudiado y de las interacciones subyacentes entre las entradas.
2. Su invención cumple la concepción de ser desarrollado “por ingeniero para ingenieros”.
3. Según Taguchi, algunas variables están bajo control, y otras no (factores de ruido). Uno de los primeros pasos en los métodos de Taguchi es el uso de los conocimientos previos del proceso para identificar

los factores controlables y de ruido más significativos.

4. Taguchi recomienda un ratio señal-ruido para representar la robustez, (aunque un simple análisis de varianza o desvío estándar bastaría).

5. En contraste con el diseño experimental clásico, Taguchi sugiere una ronda final de experimentos para hacer confirmación de los resultados.

6. Mientras que el diseño de experimentos clásico puede ignorar o no considerar explícitamente los factores de ruido, el diseño Taguchi los usa para contrastar la robustez del sistema, así como para encontrar las entradas óptimas.

F. Diseños experimentales básicos cuando no es permitido un diseño experimental robusto

La dificultad que existe en aplicar los diseños experimentales robustos en los procesos de producción, se basan en los cambios en los niveles de productividad, eficiencia y nivel de servicio al cliente. La experimentación en entornos reales, encausa en la generación de costos adversos para la organización. Es importante que la organización, dentro de sus políticas de planificación de actividades de producción y avances en procesos de investigación y desarrollo, se defina rubros que permitan analizar la eficiencia y productividad de sus operaciones de manufactura.

No obstante, la calidad que se debe percibir en los procesos de manufactura debe llevar consigo un control estadístico que permita monitorear la eficiencia de las operaciones de manufactura. Según Montgomery [6], si el investigador desea conocer las causalidades que afectan un proceso de producción, se deberá considerar el uso de diseños experimentales. En muchos casos se puede desarrollar análisis híbrido entre diseños experimentales clásicos y robustos. Kachar [7], propone en el caso de implementar un diseño robusto donde se presenten limitaciones en el desarrollo de la metodología Taguchi; aplicar diseños experimentales clásicos para evaluar la importancia de los parámetros de control que pueden incidir de manera benéfica o adversa en el proceso de producción.

En el caso de un sola línea de producción, se puede considerar el uso de diseños experimentales con un solo factor; en un sistema de producción se tienen varias líneas que realizan las mismas operaciones para el mismo producto, se puede encausar el análisis a un diseño experimental por bloques.

Finalmente, si existe diferencia significativa entre los parámetros del experimento, se puede aplicar pruebas de rango múltiple a través del método de diferencia mínima significativa, o bien, la prueba de Duncan, ya que, según Gutiérrez y De la Vara [2],

indican que estos dos tipos de pruebas tienen un desempeño similar.

IV. ANÁLISIS DE LA MERMA EN EL PROCESO DE SACRIFICIO DE LOS POLLOS

En los procesos básicos de una planta de sacrificio avícola, se generan desperdicios y mermas. Los primeros pueden ser entendidos como kilos de pollo que no cumplen con cierta condición estándar de calidad que se maneje en la empresa; los segundos son pérdidas de peso del pollo durante el tratamiento u operación del procesamiento del ave. Por lo tanto, es importante considerar los tipos de merma que se pueden presentar en el procesamiento del pollo.

La norma internacional de contabilidad N°02 (NIC2), define la merma como “una pérdida física tanto en volumen como en peso, ocasionada por causas inherentes a su naturaleza o al proceso productivo del mismo”¹. Si existe merma en un proceso productivo, se obtendrá un cambio en los estándares de calidad del producto, y como consecuencia, se generará una pérdida cuantitativa (monetaria), por estar relacionada a las cantidades que se distribuyen en el mercado.

Las mermas generadas dentro del proceso de sacrificio de los pollos, se pueden clasificar en dos tipos. Por un lado existen mermas comerciales, vísceras y productos desechados; los cuales se venden como productos para consumo animal; dicha venta permite recuperar parte del costo que genera el proceso. En caso contrario, existen mermas no comerciales, que son generadas por el proceso de sacrificio por pérdida de materia prima de manera inevitable; esto encausa a que los productos que son disponibles para la venta, absorben el costo de dicha merma.

En la empresa considerada como caso de estudio, se obtuvo la información de los kilos de pollo utilizados y efectivamente procesados durante los periodos del 2000 al 2009, tal como se presenta en la [TABLA 1].

Con base en lo anterior, se puede considerar dos tipos de merma en el procesamiento de los pollos en las plantas de sacrificio. Por un lado, defínase $\alpha_{Teórica}$ como el porcentaje de merma teórica que se obtiene durante el procesamiento de los pollos. La expresión matemática para calcular el porcentaje de merma teórica se presenta en (1).

$$\alpha_{Teórica} = \left[\frac{K - (\theta_2 + \theta_3)}{K} \right] * 100 \quad (1)$$

¹ Norma Internacional de Contabilidad N°02 (NIC2), Enero 2005-[citado el 15 de octubre de 2010]. Disponible en www.normasinternacionalesdecontabilidad.es/nic/pdf/NIC02.pdf

TABLA I
PRODUCCIÓN DE PLANTA DE BENEFICIO DURANTE EL PERIODO 2000 A 2009

Año	Kilos de Pollos	Kilos Procesados	Kilos Descartado	Kilos Desechos
2000	25.079.324	23.472.954	17.476	379.670
2001	29.012.041	26.831.194	50.823	799.147
2002	34.048.604	31.712.976	106.246	750.627
2003	35.660.569	33.051.847	192.305	906.907
2004	31.686.995	27.715.687	91.080	1.687.297
2005	34.173.555	30.364.145	148.972	2.446.938
2006	36.869.470	33.261.917	236.731	1.920.010
2007	43.873.262	38.771.775	202.341	2.764.635
2008	42.234.392	37.274.194	137.621	3.212.793
2009	37.176.643	32.414.292	153.908	3.048.407

Fuente: Autores

donde,

- K : Kilos de aves a procesar
 θ_2 : Kilos de aves procesadas
 θ_3 : Kilos de los residuos o desechos durante el procesamiento de las aves

Adicionalmente, en los procesos de sacrificio de las aves para la obtención de carne para consumo humano, se presentan descartes o rechazo de algunas aves con respecto a los estándares de calidad en algunas partes del proceso de producción; por ejemplo, los cambios en el nivel de pesaje del ave en el proceso de escaldado y Chiller, o bien, el nivel de carga bacteriológica que se presente en el flujo del ave durante los procesos de producción. En vista de lo anterior, se define α_{Real} como el porcentaje de merma real durante el procesamiento de las aves en la planta de sacrificio. La expresión que permite calcular el porcentaje de merma real, se presenta en (2).

$$\alpha_{Real} = \left(\frac{K - \sum_{i=1}^3 \theta_i}{K} \right) * 100 \quad (2)$$

donde,

- K : Kilos de aves a procesar
 θ_1 : Kilos de aves procesadas en la planta de sacrificio
 θ_2 : Kilos de aves procesadas
 θ_3 : Kilos de los residuos o desechos durante el procesamiento de las aves

Con base en las expresiones (1) y (2), se obtiene la [TABLA 2], la cual presenta la información de la merma teórica y la merma real del proceso de producción del pollo durante los periodos del 2000 al 2009.

TABLA II
PORCENTAJE DE MERMA TEÓRICA Y REAL DEL PROCESAMIENTO DE AVES EN LA PLANTA DE SACRIFICIO

Año	$\alpha_{Teórica}$	α_{Real}
2000	4.89 %	4.82 %
2001	4.76 %	4.59 %
2002	4.66 %	4.34 %
2003	4.77 %	4.23 %
2004	7.21 %	3.79 %
2005	3.99 %	3.55 %
2006	4.58 %	3.93 %
2007	5.33 %	4.87 %
2008	4.14 %	3.81 %
2009	4.61 %	4.20 %

Fuente: Autores

Con base en la [Fig. 2], se puede inferir que durante el proceso de sacrificio de las aves para obtener carne para consumo humano, es imperativo que se presente descartes de aves durante las operaciones de la planta de sacrificio. La eficiencia en el proceso de descarte hace que los niveles de merma sean mínimos; pero induce a que se pierda la mayor cantidad de kilos de pollo para ser vendidos al mercado.

Se podría decir que al aplicar controles de calidad en cada uno de los procesos, se podría mitigar la merma por incumplimiento de las especificaciones en cada proceso y a su vez, con respecto a la pérdida significativa de peso por las operaciones que se efectúan en la planta de sacrificio.

Un método apropiado para conocer los puntos críticos donde se presenta perturbación en la merma del pollo, es la aplicación de una carta de control.

La empresa controla cada uno de los procesos, mediante la toma de registros de datos y

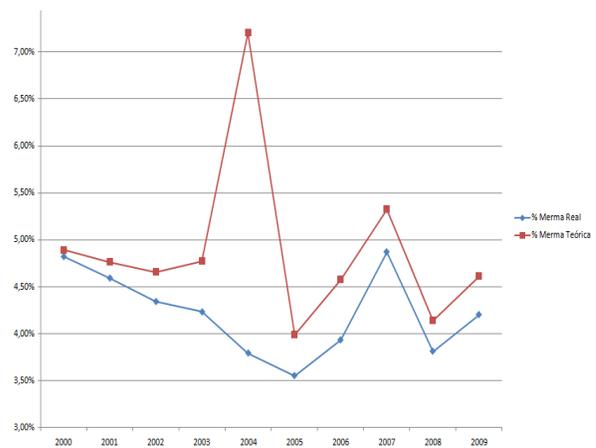


Fig. 2. Comportamiento del porcentaje de merma teórico y real 2000-2009

estandarizando los tiempos y factores que influyen en la obtención del pollo para consumo humano. Con base en la afirmación anterior, se define un nivel de confiabilidad del 90% para el desarrollo de la carta de control (el 90% indica que al tener mayor seguridad en los parámetros que afectan al proceso, se quiere una mayor precisión y rigurosidad en el manejo de la merma del pollo).

Teniendo en cuenta la información del porcentaje de merma real, que se presenta en la [TABLA 2], se estimaron los parámetros poblacionales con base en los datos históricos muestrales.

Sea

$\hat{\mu}_{Real}$: Porcentaje promedio de la merma real obtenida en el procesamiento de las aves

$\hat{\sigma}_{Real}^*$: Desviación estándar de la merma real obtenida en el procesamiento de las aves

$Z_{0,90}$: Valor normal estándar que define la amplitud de los límites de control

LC_{Real} : Límite de control central (generalmente es estimación de la media poblacional)

LCS_{Real} : Límite de control superior

LCI_{Real} : Límite de control inferior

Las expresiones (3), (4) y (5), representan puntos críticos de la carta de control.

$$LC_{Real} = \hat{\mu}_{real} \quad (3)$$

$$LCS_{Real} = \hat{\mu}_{Real} + Z_{0,90}\hat{\sigma}_{Real} \quad (4)$$

$$LCI_{Real} = \hat{\mu}_{Real} - Z_{0,90}\hat{\sigma}_{Real} \quad (5)$$

La carta de control para analizar el porcentaje de merma real durante el periodo del 2000 al 2009; se presenta en la [Fig. 3].



Fig. 3. Gráfico de control para el porcentaje de merma real. Periodo 2000-2009

Como se puede observar en la [Fig. 3], el porcentaje de merma real durante el periodo del 2000 al 2009 se ha mantenido dentro de las especificaciones de confiabilidad del 90% (aseguramiento de rigurosidad en el control de la merma). No obstante en dos periodos (2000 y 2007), se ha presentado un desfase con respecto al límite de control superior. Una de las posibles causas se basa en el nivel de pollos rechazados, o bien en la falla de control de alguno de los parámetros dentro del proceso de producción del pollo. Según información de la empresa considerada como caso de estudio, se han presentado problemas con el control de temperatura del Prechiller y Chiller; así como también, no se tiene un plan de mantenimiento de los dispositivos que se utilizan para el control de calidad del producto.

Con base en el análisis anterior, se puede plantear la siguiente hipótesis estadística: “¿Existirá o no un cambio significativo en el porcentaje de merma de pollo a través de los años, considerando la medida teórica y real, y manteniendo constante los factores que inciden en el proceso de sacrificio de las aves?”. Para esto, se definen los valores estándar de los factores críticos del procesamiento en la planta de sacrificio avícola.

- Velocidad de procesamiento: 94 metros por minuto
- Voltaje: 41 Voltios
- Temperatura-Escaldado: 57,4 grados centígrados
- Temperatura-Prechiller: 12 grados centígrados

Los factores de control fueron establecidos por los encargados del proceso de la planta de sacrificio avícola. Esta deducción se realizó a través del análisis de bases de datos históricas, donde se evidencian las fluctuaciones que se presentan en el peso de los pollos; tal como se evidenció en el gráfico de control del

porcentaje de merma real durante el periodo del 2000 al 2009. Ver [Fig. 3]. No obstante, la empresa considerada como caso de estudio no ha desarrollado investigaciones pertinentes para definir la combinación óptima de los valores de los parámetros de control en el proceso de producción.

Considerando la hipótesis estadística con respecto al porcentaje anual de merma de pollo, se plantea el diseño experimental, tal como se presenta en (6).

$$\begin{cases} H_0: \mu_i = \mu_j \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \quad \forall i, j \in \text{Años} \mid i \neq j \quad (6)$$

Este tipo de diseño corresponde a un experimento de un solo factor; donde el factor de análisis en la planta de sacrificio avícola, se define como el porcentaje de la merma de peso del pollo. Se tiene información de diez años; para cada año se ha calculado el porcentaje de merma real y el porcentaje de merma teórico. La finalidad de la prueba es conocer si es relevante el proceso de desecho de los pollos a la hora de cuantificar monetariamente la merma. Mediante el uso del Análisis de Datos de Microsoft Excel, se obtiene la [TABLA 3]; la cuál presenta el resultado obtenido del Análisis de Varianza, donde A es el comportamiento de la merma y B es el error del análisis. Considerar que se ha manejado una significancia de prueba del 5%. Considerar que μ_i , es el porcentaje de merma real obtenido en un año.

TABLA III
ANOVA DE UN FACTOR PARA EL ANÁLISIS DEL
PORCENTAJE ANUAL DE MERMA DE PESO DEL POLLO

F.V	G.L	S.C	C.M	Fo	P.V	F
A	9	0,00047	$5,26 \times 10^{-5}$	0,796	0,628	$\frac{3,02}{4}$
B	10	0,00066	$6,60 \times 10^{-5}$	---	---	---
Total	19	0,00113	---	---	---	---

Fuente: Autores

Para conocer cuál de las dos hipótesis tiene mayor evidencia estadística; se define la siguiente relación con base el comportamiento de los valores críticos de la distribución de Fisher, (7) y (8).

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad \forall i, j \in \text{Años} \mid i \neq j \rightarrow p_{valor} < 5\% \\ \rightarrow F_o > F_{5\%,9,10} \quad (7)$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \forall i, j \in \text{Años} \mid i \neq j \rightarrow p_{valor} > 5\% \\ \rightarrow F_o < F_{5\%,9,10} \quad (8)$$

Con base en la información del ANOVA de un solo factor, se deduce que existe suficiente evidencia

estadística par afirmar que existe diferencia entre la merma real y teórica a través de los años. Lo cual indica que la empresa deberá impulsar la planificación de procesos de tal forma que minimice los kilos de pollo descartados. Para lo anterior, es pertinente conocer si los valores de los factores que inciden en el proceso de sacrificio de las aves, son los causales de la variación de la cantidad de merma durante el horizonte de la planeación de la producción.

A. Análisis mensual de la merma de los pollos durante el periodo Mayo-Agosto de 2010

La suposición de que la velocidad de procesamiento, voltaje de aturdimiento de las aves, la temperatura del proceso de escaldado y la temperatura del proceso de Prechiller, son las causantes de la variación de la merma del pollo; infirió en la necesidad de hacer un control detallado del porcentaje de la merma real en la planta de sacrificio de la empresa considerada como caso de estudio.

Se tomó registro del comportamiento de la merma real del pollo durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto. En cada mes se registró 30 observaciones donde se consideró el control de los factores que inciden en el proceso de sacrificio del pollo; lo cual permitió mantener un comportamiento casi estable de los parámetros, la sensibilidad del valor de los parámetros podría incidir de manera directa con la cantidad de merma obtenida en el proceso de producción.

Con base en la anterior afirmación, se puede plantear la siguiente hipótesis estadística: “¿Existe o no diferencia significativa en el porcentaje mensual de la merma real de los pollos, si se considera que no existe un control eficiente con respecto a los parámetros que influyen en el proceso de sacrificio de las aves?”.

El diseño experimental se plantea de acuerdo a la expresión (9).

$$\begin{cases} H_0: \mu_i = \mu_j \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \quad \forall i, j \in \{\text{Mayo, Junio, Julio, Agosto}\} \\ \mid i \neq j \quad (9)$$

Este tipo de diseño corresponde a un experimento con un solo factor; recordar que el factor relevante en la investigación es la merma de peso del pollo. Mediante la información recopilada durante los tres meses, manejando un nivel de significancia del 5% e implementado la información en Análisis de Datos de Microsoft Excel; se obtiene la [TABLA 4], donde A es el comportamiento de la merma y B es el error del análisis. Para conocer cuál de las dos hipótesis tiene mayor evidencia estadística; se define la siguiente

relación con base el comportamiento de los valores críticos de la distribución de Fisher, (10) y (11).

TABLA IV
ANOVA DE UN FACTOR PARA EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE MENSUAL DE MERMA DE PESO DEL POLLO

F.V	G.L	S.C	C.M	Fo	P.V	F(5%)
A	3	0,01095	0,0036	0,0357	0,991	2,6919
B	104	10,6017	0,1019	---	---	---
Total	107	10,6127	---	---	---	---

Fuente: Autores

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad \forall i, j \in \text{Meses} \mid i \neq j \rightarrow p_{valor} < 5\% \\ \rightarrow F_o > F_{5\%,3,104} \quad (10)$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \forall i, j \in \text{Meses} \mid i \neq j \rightarrow p_{valor} > 5\% \\ \rightarrow F_o < F_{5\%,3,104} \quad (11)$$

Con base en la información del ANOVA de un solo factor [8], se deduce que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existe diferencia en el porcentaje de la merma de los pollos durante los meses de Mayo a Agosto. Lo anterior permite justificar que durante el procesamiento de las aves, se presenta variación en el valor de los parámetros del proceso de sacrificio; los cuales inciden en la generación de merma, y por ende, en el incremento del costo de producción. Considerar que μ_i , es el porcentaje de merma real obtenido un mes.

Para conocer en cuál de los meses se presenta la diferencia más significativa del porcentaje de merma real del pollo; se procede con un análisis de rango múltiple. En esta investigación se considera el uso de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), ya no es tan sensible al comportamiento de los datos como en el caso de la prueba de Tukey. Según Gutiérrez y De la Vara [2], en el caso de que el P_valor sea significativamente alto con respecto al nivel de significancia, ambas pruebas arrojan el mismo resultado.

Inicialmente, se establecen las combinaciones de parejas de medias del porcentaje de merma real de los pollos. Seguidamente, mediante la expresión (12), se define la diferencia mínima significativa; la cual, mide la diferencia mínima que debe existir entre las dos medias muestrales. Esto permite comparar si existe una evidencia estadística suficiente para evidencia equivalencia o diferencia entre las medias de dos tratamientos.

$$DMS = t_{\frac{\alpha}{2}, N-k} \sqrt{CM_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (12)$$

donde,

μ_i : Porcentaje de merma real obtenido en el mes i

$t_{\frac{\alpha}{2}, N-k}$: Valor crítico de la prueba DMS

$N - k$: Grados de libertad del error (según el ANOVA de un solo factor)

CM_E : Error cuadrático medio del error (según el ANOVA de un solo factor)

n_i : Tamaño de la muestra del tratamiento i

n_j : Tamaño de la muestra del tratamiento j

El diseño experimental cuando se pretende realizar comparaciones de rangos múltiples, puede ser entendido mediante las expresiones (13), (14) y (15).

$$\begin{cases} H_0: \mu_i = \mu_j \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \quad \alpha = 5\% \quad (13)$$

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad \rightarrow \quad |\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_j| \leq DMS \quad (14)$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \rightarrow \quad |\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_j| > DMS \quad (15)$$

La expresión (14) indica que si la diferencia absoluta de la media de los dos tratamientos es inferior o equivalente a la diferencia mínima significativa, se tiene evidencia estadística para afirmar que en no existe diferencia entre los dos tratamientos. La expresión (15) es la evidencia estadística que contrarresta la afirmación de la hipótesis nula.

En el estudio del porcentaje real de la merma del pollo, se debe considerar que los tratamientos son equivalentes a los meses en que se realizó la observación y recolección de información [9]. El tamaño de muestra en cada mes fue de 30 registros de merma. La [TABLA 5], presenta los resultados de aplicar la prueba DMS.

Con base en la información de la Tabla 5., se puede concluir que existe diferencia significativa del porcentaje de merma real del pollo entre los meses Mayo y Agosto, y Julio y Agosto. En consecuencia, el mes de Agosto presentó una sensibilidad con respecto a los parámetros que intervienen en los procesos de la planta de sacrificio. Esto es evidente, ya que en dicho mes ocurrieron problemas con respecto a la temperatura del Prechiller y el voltaje de aturdimiento de las aves, según evaluación de los encargados de la planta de sacrificio. Con base en esta conclusión, se procedió a realizar mediciones diarias detalladas de la merma del pollo, con el propósito de evaluar

TABLA V
RESULTADOS DE LA PRUEBA DMS PARA EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE MENSUAL DE LA MERMA DEL POLLO

Caso	Diferencia Poblacional	Valor Diferencia Muestral	Valor DMS	Decisión
I	$\mu_{\text{Mayo}} - \mu_{\text{Junio}}$	0,00000	0,01625	No significativo
II	$\mu_{\text{Mayo}} - \mu_{\text{Julio}}$	0,01000	0,01625	No significativo
III	$\mu_{\text{Mayo}} - \mu_{\text{Agosto}}$	0,01808	0,01625	Significativo
IV	$\mu_{\text{Junio}} - \mu_{\text{Julio}}$	0,01346	0,01625	No significativo
V	$\mu_{\text{Junio}} - \mu_{\text{Agosto}}$	0,01461	0,01625	No significativo
VI	$\mu_{\text{Julio}} - \mu_{\text{Agosto}}$	0,02807	0,01625	Significativo

Fuente: Autores

la sensibilidad de la merma del pollo en función de un cambio en los factores críticos (parámetros) que influyen en el procesamiento de las aves en la planta de sacrificio.

B. Variación de los parámetros de control y su diseño de experimentos

Con base en las conclusiones obtenidas al analizar los periodos mensuales de procesamiento de las aves en las plantas de sacrificio; se debe identificar los factores (parámetros) que pueden influir en dicho proceso. La idea es identificar los factores que pueden controlar los encargados de la planta de sacrificio.

Según experiencia de los encargados de la planta de sacrificio, se identifican los siguientes factores de control:

- Velocidad de procesamiento en la cadena de colgado (A)
- Voltaje de aturdimiento de las aves (B)
- Temperatura del proceso de Escaldado (C)
- Temperatura del Prechiller (D)

Una vez considerados los factores de control, se procedió con el análisis de la información del porcentaje de merma real durante todo el procesamiento de las aves. La finalidad de este análisis permitió contrastar la importancia de la definición de los factores de control [10, 11].

Con base en la información analizada en los días de inspección y recolección de datos, se obtiene la [TABLA 6]; que relaciona el porcentaje de merma real con respecto a los cambios en los valores de los factores de control.

Una vez obtenida la información de la [TABLA 6], se definen los posibles escenarios (considerar que cada experimento corresponde a un escenario del comportamiento de la merma de peso real), que pueden ser considerados para el procesamiento de aves en la planta de sacrificio.

TABLA VI
INFORMACIÓN FINAL DE LA MERMA DE PESO DEL POLLO DURANTE LOS DÍAS DE INSPECCIÓN

Parámetro		(A)	(B)	(C)	(D)	% Merma	Muestra
Situación Actual		94	41	57,4	12	4,26 %	64.474
(B)	1	94	40	57,4	12	4,21 %	61.690
	2	94	42	57,4	12	4,20 %	56.680
	3	94	43	57,4	12	4,54 %	65.126
(C)	1	94	41	57,3	12	4,05 %	67.323
	2	94	41	57	12	4,12 %	49.616
	3	94	41	57,8	12	3,91 %	60.296
(D)	1	94	41	57,4	11	4,73 %	62.051
	2	94	41	57,4	13	4,40 %	64.391
	3	94	41	57,4	14	4,23 %	64.548

Fuente: Autores

Se obtuvo la información de los kilos de merma neta y el costo generado por la merma de peso real del pollo, con base en el tamaño de muestra de cada día en que se analizó el procesamiento de las aves. La información se presenta en la [TABLA 7]. Una vez que se identificó el comportamiento de la merma de peso real de los pollos y cuantificados los costos referentes a dicha variable; se procedió con el análisis de asignación de costo de merma al producto final. Para lo anterior, considerar la expresión (16).

$$\omega_j = \frac{\Omega_j}{\eta_j(1 - \alpha_{Real j})} \quad (16)$$

donde,

- Ω_j : Costo de merma del peso obtenido en el escenario j
- ω_j : Costo de merma del peso por unidad del escenario j
- η_j : Número de pollos analizados en el escenario j
- $\alpha_{Real j}$: Porcentaje de merma de peso real obtenido en el escenario j

Sea

- $\hat{\omega}_{Real}$: Costo promedio de la merma real por unidad
- $\hat{\sigma}_{\omega_{Real}}^*$: Desviación estándar del costo de la merma real por unidad
- $Z_{0,90}$: Valor normal estándar que define la amplitud de los límites de control
- LC_{Real} : Límite de control central (generalmente es la estimación de la media poblacional)
- LCS_{Real} : Límite de control superior
- LCL_{Real} : Límite de control inferior

Las expresiones (17), (18) y (19), representan puntos críticos de la carta de control.

$$LC_{Real} = \hat{\omega}_{real} \quad (17)$$

$$LCS_{Real} = \hat{\omega}_{Real} + Z_{0.90} \hat{\sigma}_{\omega_{Real}}^* \quad (18)$$

$$LCI_{Real} = \hat{\omega}_{Real} - Z_{0.90} \hat{\sigma}_{\omega_{Real}}^* \quad (19)$$

Al realizar los cálculos del costo de merma del peso por unidad para cada escenario, mediante (16), y los límites de control; teniendo en cuenta la información de las [TABLA 6 y 7], se obtiene la [Fig. 4], en la cual se puede observar el comportamiento de la merma del peso y en consecuencia, los escenarios más prometedores para controlar el costo durante el procesamiento en la planta de sacrificio.

Al observar la [Fig. 4], se puede considerar que los escenarios que se encuentran por debajo del límite central, son escenarios prometedores para controlar los costos de la merma de peso durante el procesamiento de las aves.

La [TABLA 8], contiene la información de las posibles propuestas de mejoramiento en el control de la merma de peso.

Con base en los resultados que se observa en la [TABLA 8], y la información detallada de cada escenario experimental; se deduce que la primera propuesta es adecuada para el control de la merma, pero aunque contribuye en la disminución del costo de la merma del peso se está sacrificando los niveles de productividad, puesto que la disminución de la velocidad de colgado de las aves, genera un cuello de botella para el resto de los procesos de la planta.

Por otro lado, la segunda y tercera propuesta se encuentran por debajo del límite central pero el problema radica en que los cambios de voltaje en el aturdimiento de las aves hace que se presente variación en el desangre, perjudicando la calidad del producto en este proceso. Lo anterior puede encausar a que se generen descarte de aves en los siguientes procesos.

TABLA VIII
PROPUESTA DE ESCENARIOS PARA EL CONTROL DEL COSTO DE MERMA DE PESO

Propuesta	Parámetros de control	% merma	Costo merma por unidad (\$/pollo)	Muestra
1	Velocidad : 90 Voltaje: 41 volts Tem. Escaldado: 57.4 °C Tem. Prechiller: 12 °C	3.80	351	67950
2	Velocidad: 94 Voltaje: 40 volts Tem. Escaldado: 57.4 °C Tem. Prechiller: 12°C	4.21	368	61690
3	Velocidad: 94 Voltaje: 42 volts Tem. Escaldado: 57.4 °C Tem. Prechiller: 12 °C	4.20	370	56680
4	Velocidad: 94 Voltaje: 41 volts Tem. Escaldado: 57.3 °C Tem. Prechiller: 12 °C	4.05	368	67323
5	Velocidad : 90 Voltaje: 41 volts Tem. Escaldado: 57.8 °C Tem. Prechiller: 12 °C	3.91	336	60296
6	Velocidad: 94 Voltaje: 40 volts Tem. Escaldado: 57.4 °C Tem. Prechiller: 14°C	4.23	368	64548

Finalmente, la cuarta, quinta y sexta propuesta mantienen un nivel de costo unitario de merma real por debajo del costo estándar que maneja la empresa; los cambios en el nivel de temperatura no afectan el flujo de las aves; por lo tanto, se puede considerar inicialmente que se debería controlar los niveles de temperatura en el proceso de escaldado y de Prechiller para minimizar el costo generado por la merma de peso del pollo.

TABLA VII
POSIBLES ESCENARIOS CONDUCENTES A LA REDUCCIÓN DE LA MERMA DE PESO DEL POLLO

Parámetro		(A)	(B)	(C)	(D)	Costo \$	%M
Situación Actual		94	41	57,4	12	23.532.000	4,26
(A)	1	90	41	57,4	12	22.940.000	3,80
(B)	1	94	40	57,4	12	21.764.000	4,21
	2	94	42	57,4	12	20.088.000	4,20
	3	94	43	57,4	12	24.616.000	4,54
(C)	1	94	41	57,3	12	23.800.000	4,05
	2	94	41	57	12	18.572.000	4,12
	3	94	41	57,8	12	19.496.000	3,91
(D)	1	94	41	57,4	11	24.376.780	4,73
	2	94	41	57,4	13	23.740.000	4,40
	3	94	41	57,4	14	22.745.620	4,23

Fuente: Autores

No obstante, es imperativo analizar la información mediante un diseño experimental para obtener mayor confiabilidad[12] en la selección de las propuestas conducentes a la reducción del nivel de la merma de peso de las aves.

C. Propuesta de diseño experimental para la planta de sacrificio avícola

En vista de la información anterior, se infiere que existen problemas a la hora de plantear un diseño experimental robusto en la planta de sacrificio avícola. Esto se puede evidenciar en los siguientes aspectos:

1. Durante el procesamiento de las aves, se presentan cambios parciales en los factores de control como por ejemplo en la temperatura del proceso de escaldado y temperatura del Prechiller. Existen comportamiento imprevisto dentro del proceso de sacrificio debido a fallas eléctricas y variación en la presión-caudal de los ductos requeridos para el transporte de las aves.

2. Por otro lado, el factor de velocidad de procesamiento es un parámetro clave para el nivel de productividad de la planta, por lo tanto, no se debe considerar dentro de la investigación, ya que su variación repercute en el costo de producción diario. Los experimentos relacionados con el cambio de valores en los parámetros (factores) de control, requieren de muchas réplicas para definir las posibles combinaciones en un diseño robusto. Lo anterior no se pudo realizar debido a los problemas de falla de electricidad y flujo presión-caudal al proceso de Prechiller y Chiller; por otro lado, la disponibilidad de tiempo para acceder a la planta a recolectar la información, estuvo limitada por procesos de auditorías y mantenimiento de los procesos de la planta de sacrificio.

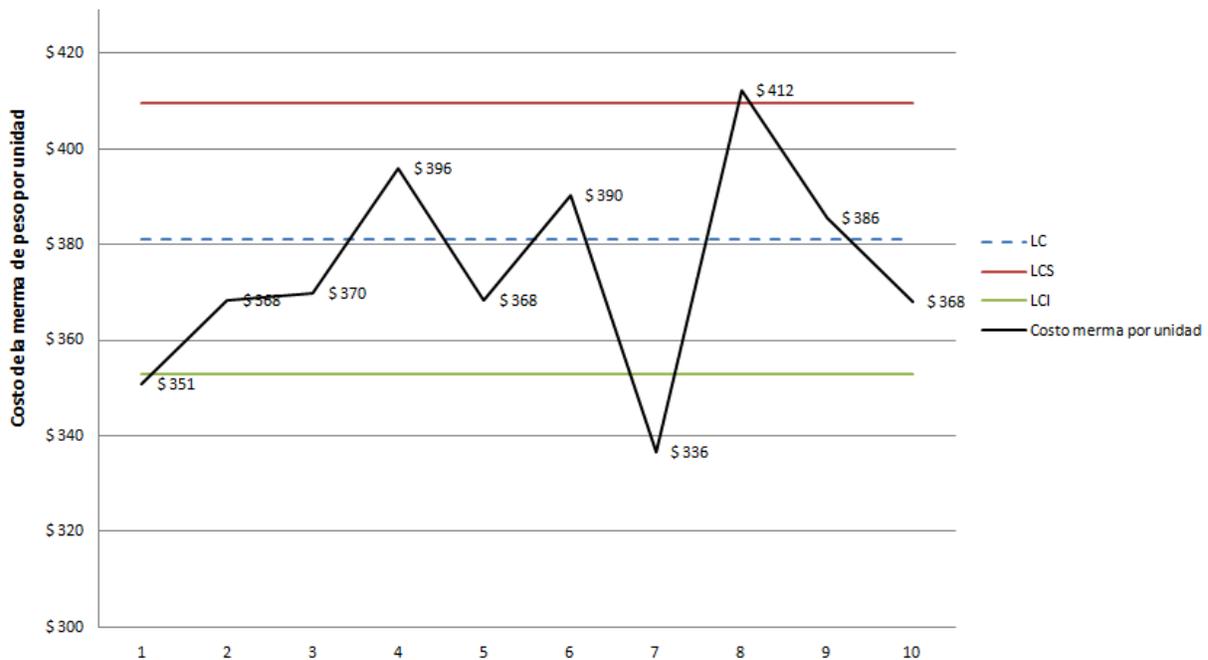


Fig. 4. Gráfico de control para el costo de merma de peso por unidad

Con base en estos tres aspectos, se procede con un diseño experimental de un solo factor (merma) para la información que se evidencia en la [TABLA 6].

La condición del proceso es que se hicieron tres tratamientos (tres cambios en el voltaje de aturdimiento, temperatura de escaldado y temperatura del Prechiller); durante el proceso (replicas) se mantuvo la velocidad de procesamiento estándar (94 pollos/minuto). El arreglo para desarrollar el diseño experimental se presenta en la [TABLA 9].

TABLA IX
POSIBLES ESCENARIOS CONDUCENTES A LA REDUCCIÓN DE LA MERMA DE PESO DEL POLLO

Tratamientos	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Voltaje	4,21 %	4,20 %	4,54 %
Temperatura Escaldado	4,24 %	4,12 %	3,91 %
Temperatura Prechiller	4,73 %	4,30 %	4,23 %

Fuente: Autores

La información suministra infiere en la siguiente hipótesis estadística: “¿Existe diferencia significativa en el porcentaje de merma real de los pollos cuando se realizan variaciones en el voltaje de aturdimiento, temperatura de escaldado y la temperatura del Prechiller, manteniendo la misma velocidad de procesamiento?”. Lo anterior, encausa a definir el siguiente diseño experimental, tal como se presenta en (16).

$$\begin{cases} H_0: \mu_i = \mu_j \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \end{cases} \forall i, j \in \text{factores de control} \mid i \neq j \quad (16)$$

donde,

μ_i : Porcentaje de merma real obtenido por cambio en un factor de control i

factores de control: $\left\{ \begin{array}{l} \text{voltaje de aturdimiento, temp} \\ \text{escaldado, temp Prechiller} \end{array} \right\}$

Mediante el Análisis de Datos de Excel y manejando un nivel de significancia del 5%, se obtiene la [TABLA 10], la cual presenta el análisis de varianza para la hipótesis estadística concerniente a la diferencia del porcentaje real de la merma de pollos.

Con el propósito de conocer cuál de las dos hipótesis tiene mayor evidencia estadística; se define la siguiente relación con base el comportamiento de los valores críticos de la distribución de Fisher [13], (17) y (18).

TABLA X
ANOVA DE UN SOLO FACTOR PARA EL ANÁLISIS DE LA MERMA DE PESO DEL POLLO CON VARIACIÓN EN LOS FACTORES DE CONTROL

F.V	G.L	S.C.	C.M	Fo	P.V	F(5%)
A	2	$1,709 \times 10^{-5}$	$8,548 \times 10^{-6}$	1,849	0,2367	5,143
B	6	$2,773 \times 10^{-5}$	$4,621 \times 10^{-6}$	---	---	---
Total	8	$4,482 \times 10^{-5}$	---	---	---	---

Fuente: Autores

$$\begin{aligned} H_0: \mu_i = \mu_j \quad \forall i, j \in \text{factores de control} \mid i \neq j \\ \rightarrow p_{\text{valor}} < 5\% \rightarrow F > F_{5\%,2,6} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \forall i, j \in \text{factores de control} \mid i \neq j \\ \rightarrow p_{\text{valor}} > 5\% \rightarrow F < F_{5\%,2,6} \end{aligned} \quad (18)$$

Con base en la información del ANOVA de un solo factor, se deduce que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existe diferencia en el porcentaje de la merma de los pollos al realizar cambios en el nivel de voltaje, temperatura de escaldado y temperatura del Prechiller. A continuación es importante conocer cuál de los factores de control incide en el porcentaje de merma real [14] que se obtiene durante el procesamiento de las aves.

Teniendo en cuenta el método DMS [15], utilizado para analizar en que mes se evidenció variación significativa en el porcentaje de merma real, se aplica dicho método, donde el resultado se presenta en la [TABLA 11].

Recordar que el proceso de análisis se realiza mediante las expresiones (19) y (20).

$$H_0: \mu_i = \mu_j \rightarrow |\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_j| \leq DMS \quad (19)$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \rightarrow |\hat{\mu}_i - \hat{\mu}_j| > DMS \quad (20)$$

TABLA XI
RESULTADOS DE LA PRUEBA DMS PARA EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE MENSUAL DE LA MERMA DE PESO DEL POLLO

Caso	Diferencia Poblacional	Diferencia Muestral	DMS	Decisión
I	$\mu_{\text{voltaje}} - \mu_{\text{temp Escaldado}}$	0,23 %	0,24 %	No significativo
II	$\mu_{\text{voltaje}} - \mu_{\text{temp prechiller}}$	0,10 %	0,24 %	No significativo
III	$\mu_{\text{temp Escaldado}} - \mu_{\text{temp prechiller}}$	0,33 %	0,24 %	Significativo

Fuente: Autores

En consecuencia, se puede inferir que la diferencia más significativa del porcentaje de merma real de los pollos, se presenta cuando se relaciona la temperatura del proceso de escaldado y la temperatura del Prechiller. En vista del análisis de cada observación, se evidencia que las fallas eléctricas en la planta, repercute en el proceso de enfriamiento de las aves en el escaldado y los dos Prechiller; aunque no se genera tiempo muerto, si afecta de manera directa con los kilos de aves descartados y los kilos de aves efectivamente procesadas.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la investigación sobre el comportamiento de la merma de peso de los pollos, al generar variación en los factores de incidencia en el procesamiento del producto en la planta de sacrificio, infiere los siguientes aspectos concluyentes: Los resultados pueden afectarse de manera significativa según los procesos de monitoreo y calibración de los instrumentos de medición en los puntos de inspección de la planta de sacrificio.

Por otro lado, las ventajas de analizar las variaciones de los factores críticos que inciden en el comportamiento de la merma de peso de los pollos; generó un procedimiento de control estadístico de calidad donde se evidenció que la variable merma de peso de los pollos está bajo control en los procesos. No obstante, es imperativo la combinación de escenarios que permitan obtener un control de los costos variables de producción, generados por el nivel de merma de peso durante el procesamiento de las aves.

Finalmente, es importante que dentro de las futuras investigaciones relacionadas con la merma de peso de los pollos, se pueda especificar otros factores críticos que influyan en su comportamiento; ya que en la presente investigación, los factores de ruido no identificados, así como la restricción de tiempo y costos en la generación de más réplicas de los posibles escenarios, impidieron la aplicación general de la metodología Taguchi.

VI. RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones generales del proyecto de investigación, se proponen las siguientes recomendaciones para el mejoramiento del procesamiento de los pollos en la planta de sacrificio. Por un lado es importante que la empresa especifique los valores de referencia para los factores críticos que inciden en el procesamiento de la planta: Voltaje de aturdimiento, Temperatura de escaldado y

Temperatura del Prechiller.

Por otro lado, se debe establecer un sistema de mantenimiento preventivo, donde se defina la verificación y calibración periódica de los instrumentos de medición y control de los factores críticos que inciden en el procesamiento de los pollos; lo anterior, permitirá instaurar, de manera permanente, un control estadístico diario de los procesos para monitorear las variables críticas que inciden en el comportamiento de la merma de peso de los pollos.

El alcance de la investigación se focalizó desde el momento en que llegan los pollos a la plataforma de descargue de la planta hasta la obtención del producto final, por solicitud expresa e interés de los directivos de la empresa; debido a que el impacto de la merma de peso de los pollos es muy significativo en la planta de sacrificio. Como existen factores de ruido que pueden incidir en la calidad y en los niveles de merma de peso de los pollos, se recomienda que en futuros proyectos de investigación se analice el problema de la logística de transporte de los pollos, desde las granjas avícolas hasta las plantas de sacrificio y procesamiento, debido a que estas operaciones pueden generar gran influencia e impacto en el nivel de la merma de peso de los pollos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Universidad Pontificia Bolivariana y a la Dirección General de Investigación (DGI) por los valiosos aportes y recursos económicos que hicieron posible la realización de esta investigación. A los directivos de la Empresa Piloto donde se llevó a cabo la investigación, por permitir el uso de sus instalaciones y por el excelente soporte brindado durante toda la realización de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Cervantes, E., Sobre el procesamiento del Pollo. Mejorando la productividad en las plantas de beneficio de aves. ICPROAVE, 2008. Barranquilla. Pág 1.
- [2] Gutierrez, H., De La Vara, R. Análisis y diseño de experimentos. The McGraw Hill Companies-Textbook, Segunda Edición. 2008. Pág 30.
- [3] Medina, P., Cruz, E., Restrepo, J., Aplicación del modelo de experimentación Taguchi en un ingenio azucarero del valr del cauca. Sientia et Técnica Año XIII, N°34. Universidad Tecnológica de Pereira. 2001. ISSN 0122-1701.

- [4] Cesatrone, J., The Power of Taguchi, Institute of Industrial Enginier Solutions. IIE Solutions. 2001. 36-40.
- [5] Yacuzzi, E., Martín, F., Muñones, H., Popovsky, M., el diseño experimental y los métodos de Taguchi: conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica. Universidad del CEMA. 2001. 26-35.
- [6] Montgomery, D.C., Design and analysis of experiments. Wiley and Sons-Textbook, Tercera Edición. 1991.
- [7] Kachar, R.N., Off-Line quality control, parameter design and the Taguchi Method. Journal of Quality Technology, 17, 176-209.
- [8] Weihs, C., Berres, M. y Grize, Y. Statistical design of experiments in industrial practice. Surveys on mathematics for industry. 1995. 5, 49-73.
- [9] Navidi W., Estadística para ingenieros y científicos. McGraw Hill, Primera Edición. 2006.
- [10] Byrne, D.M. y Taguchi, S. The Taguchi approach to parameter design. Quality Progress. 1987.
- [11] Gutierrez, H., De La Vara, R. Control estadístico de calidad y Seis Sigma. (2003) The McGraw Hill Companies.
- [12] Taguchi, G. System of experimental design, vol I. UNIPUB, Nueva York. Technometrics, 1987, 1, 311-341.
- [13] Fowlkes, W.Y. y Creveling, C.M. Engineering methods for robust product design. 1995. Addison Wesley, USA.
- [14] Box, G.E.P, Hunter W.G y Hunter J.S. Statistics for experiments. 1978. Wiley, New York.
- [15] Myers, R.H., Montgomery, D.C. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. 1995. John Wiley, New York.

Matemáticos de Producción y Logística, Modelos estadísticos inferenciales y bayesianos, Sistemas de Información, Métodos de Optimización, Investigación de Operaciones y Programación de Software en sistemas de producción y logística.

BIOGRAFÍA



William Hoyos Torres, Lugar de nacimiento Pereira, Ingeniero Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira. Especialista en Gerencia de Producción y en Sistemas Integrados de Gestión. MBA Tulane Icesi. Profesor Asociado de la Facultad de Ingeniería Industrial, en el área de Sistemas Integrados de Gestión, de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga.

Experiencia de trabajo de 23 años en la Multinacional Goodyear, en el campo Internacional, en el área de manufactura.



Orlando Federico González Casallas, Lugar de nacimiento Bogotá, Ingeniero Industrial, Universidad Libre de Colombia. M.Sc. Sistemas de Producción y Logística, Universidad de Los Andes. Profesor Asistente de la

Facultad de Ingeniería Industrial, en el área de Producción y Logística. Intereses de investigación en área de Modelos