



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Química e Ingeniería Química**

**Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**

**Determinación de la correlación de los parámetros de  
operación con la calidad y merma en la etapa de  
escaldado del beneficio de pollos tipo brasa**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial

**AUTOR**

Sandra ECCOÑA ACHULLI

**ASESOR**

Eder Clidio VICUÑA GALINDO

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Eccoña, S. (2016). *Determinación de la correlación de los parámetros de operación con la calidad y merma en la etapa de escaldado del beneficio de pollos tipo brasa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

1236



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**

Central: 619 7000 anexos 1234    Telefax: 1209, 1218  
Ciudad Universitaria – Germán Amezaga N° 375 – Lima 1

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

148

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**A C T A DE TITULACION POR TESIS**

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, bajo la Presidencia del **Ph.D. JORGE ERNESTO GUEVARA VÁSQUEZ** (Presidente), el **Ing. CARLOS ALBERTO SUCA APAZA** (Miembro) y el **Mg. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO** (Asesor), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada "**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN CON LA CALIDAD Y MERMA EN LA ETAPA DE ESCALDADO DEL BENEFICIO DE POLLOS TIPO BRASA**", después de **SUSTENTADA Y APROBADA LA TESIS** elaborada por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **SANDRA ECCOÑA ACHULLI**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL**, acordando calificarla con la **NOTA** de:

**D E C I S I O N**  
(LETRAS)

*16*  
(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 13 de setiembre del 2016

**Ph.D. JORGE ERNESTO GUEVARA VÁSQUEZ**  
PRESIDENTE

**Ing. CARLOS ALBERTO SUCA APAZA**  
MIEMBRO

**Mg. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO**  
ASESOR

**Ph.D. JORGE ERNESTO GUEVARA VÁSQUEZ**  
DIRECTOR (e) DE LA EP DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



## AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mi Dios todo poderoso por darme la fuerza y fortaleza a lo largo de toda mi carrera. Sé que si me presta la vida hoy es porque quiere que le enseñe al mundo que tiene una hija que hizo, hace y lo hará feliz.

A mis padres por darme la vida, por enseñarme amar a Dios, por su apoyo incondicional, por sus regaños, por sus sí por sus no; por enseñarme a luchar con la razón, por su ejemplo amor y confianza. Ustedes que fueron testigos del camino andado para llegar hasta aquí, porque sé que mi sueño ha sido el suyo también, sepan que su unión fue la fuerza que me impulso y su amor el estímulo que me ayudo lograr acabar mi tesis.

Son especiales y significan mucho, mi institución y aquellas personas que han intervenido y motivado para hacer realidad este sueño anhelado mi tesis y ellos son:

La Universidad Nacional Mayor de San Marcos y a cada uno de los docentes de mi carrera universitaria que entregaron conocimiento para mi formación profesional y personal, les agradezco infinitamente por hacer de este mundo cada vez más valioso.

A mi admirable tutor de tesis el Ing. Eder Vicuña por sus incontables horas de ayuda formándome y retándome para un futuro mejor, por demostrarme que una de las mejores inversiones es el tiempo que le dedicas a estudiar. No queda duda que es un gran profesional y una gran persona pues gracias a las discusiones de carácter científico hizo que mi tesis se enriqueciera cada vez más lográndose que se culmine con éxito, a todo esto le sumo el surgimiento de una sólida amistad con él y su familia.

A mis amigos del área de Pelado uno de ellos el Sr. Bejar Collazos y del área de Mantenimiento el Sr. Borges Calixto de la empresa San Fernando S.A, por su aporte,

participación activa y desinteresada, mi más sincero agradecimiento a todos los colaboradores que de una u otra manera confiaron en mí de inicio a fin.

A los ingenieros Luis Cerro, José Luis Barrios, Héctor Rodríguez, Juan Quea, Vicente Mesías y al Dr. Walter Paredes, por los retos y enseñanzas que me dieron en mi desarrollo profesional, por las facilidades que me dieron para el desarrollo de mi tesis, y sus incontables consejos que se resumen en que, sí vas hacer algo y quieres que sea un éxito que lo haga con el corazón y con pasión, y serás como un cristal que brillará donde este.

A mi tío Itsal y mi tía Magdalena por preocuparse en mis padres cuando me encontraba lejos de ellos y me daban la seguridad que necesitaba para poder continuar con esta investigación.

A mi prima Isabel por ayudarme a encontrar la calma y ser un soporte en los momentos de angustia y desesperación.

A Chango por demostrarme una amistad incondicional, haciendo que mis amanecidas sean las más divertidas.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, el ejemplo y complemento fundamental en mi vida que hace que todo  
lo que quiero lo haga con amor.

A mis hermanos Ronald, Karina, Juan, Roberto y Margarita por ser mi soporte,  
testigo y confidentes de mis mejores y peores momentos. Nunca habrá nadie que  
ocupen su lugar, son los mejores hermanos que Dios eligió para mí.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Antecedentes de la Investigación.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Bases Teóricas de la Industria del Pollo Beneficiado.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Materia prima .....	22
2.2.2 Clasificación taxonómica .....	25
2.2.3 Proceso del beneficio de pollo.....	26
<b>2.3 Fundamentos del Proceso de Escaldado de Pollos .....</b>	<b>32</b>
2.3.1 Calidad .....	35
2.3.2 Merma .....	37
2.3.3 Tipos de escaldado .....	38
2.3.4 Características de la piel.....	39
2.3.5 Característica de la pluma .....	40
2.3.6 Descripción de la tecnología usada en el proceso de escaldado .....	42
<b>2.4 Experimento Factorial .....</b>	<b>49</b>
2.4.1 Diseño factorial con dos factores .....	51
2.4.2 Diseños factoriales con tres factores .....	56
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>60</b>

<b>3.1</b>	<b>Hipótesis general.....</b>	<b>60</b>
3.1.1	Hipótesis específicas .....	60
<b>4.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>Aspectos Generales .....</b>	<b>63</b>
4.1.1	Tipo de investigación .....	64
4.1.2	Población.....	64
4.1.3	Muestra.....	64
4.1.4	Muestreo.....	64
4.1.5	Materia prima .....	64
4.1.6	Lugar .....	64
4.1.7	Tiempo .....	65
<b>4.2</b>	<b>Diagnóstico Situacional .....</b>	<b>65</b>
4.2.1	Materiales .....	65
4.2.2	Métodos.....	65
<b>4.3</b>	<b>Trabajo experimental .....</b>	<b>66</b>
4.3.1	Diseño experimental.....	66
4.3.2	Materiales .....	70
4.3.1	Procedimiento Experimental .....	72
4.3.2	Procedimiento estadístico.....	75
<b>4.4</b>	<b>Respuesta de calidad y merma .....</b>	<b>76</b>
4.4.1	Materiales .....	77
4.4.2	Métodos.....	77
<b>4.5</b>	<b>Análisis de la correlación de variables.....</b>	<b>80</b>
4.5.1	ANOVA .....	80
4.5.2	<i>F</i> de Fisher y Valor <i>p</i> .....	80
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>

<b>5.1</b>	<b>Diagnóstico Situacional .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2</b>	<b>Respuesta de calidad y merma .....</b>	<b>99</b>
<b>5.3</b>	<b>Análisis de la correlación de variables.....</b>	<b>102</b>
5.3.1	Factores que influyen en la merma como en la calidad de la pechuga .....	104
5.3.2	Interacción de factores que influyen en el escaldado en la calidad de pechuga como de la merma .....	113
5.3.3	Modelos de correlación y valores adecuados del tratamiento en la merma y la calidad de la pechuga en el proceso de escaldado .....	115
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>121</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>122</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tiempos y Temperaturas en el proceso de Escaldado de Aves.</i> .....	20
Tabla 2. <i>Clasificación taxonómica</i> .....	25
Tabla 3. <i>Conceptos de calidad de la pechuga en el proceso de escaldado</i> .....	37
Tabla 4. <i>ANOVA para el diseño factorial <math>a \times b</math></i> .....	54
Tabla 5. <i>ANOVA para el diseño factorial <math>a \times b \times c</math></i> .....	57
Tabla 6. <i>Metodología del desarrollo de la Investigación</i> .....	63
Tabla 7. <i>Indicadores de la Variable Independiente:</i> .....	67
Tabla 8. <i>Indicadores de la Variable Dependiente</i> .....	67
Tabla 9. <i>Valorizaciones de la calidad de la pechuga de pollo Brasa</i> .....	68
Tabla 10. <i>Operacionalización de las variables independientes</i> .....	69
Tabla 11. <i>Operacionalización de las variables dependientes</i> .....	69
Tabla 12. <i>Niveles de los Factores de los tratamientos Estudiados</i> .....	69
Tabla 13. <i>Matriz de tratamientos diseñada con la codificación de Minitab</i> .....	75
Tabla 14. <i>Matriz de tratamientos con los valores de las variables independientes</i> .....	76
Tabla 15. <i>Acumulación de los defectos de calidad generados en planta</i> .....	82
Tabla 16. <i>Diagrama de Análisis de Proceso en el área de Matanza</i> .....	84
Tabla 17. <i>Selección del Modelo del Escaldador</i> .....	86
Tabla 18. <i>Especificaciones para el Modelo de escaldador N</i> .....	87
Tabla 19. <i>Factor de conversión</i> .....	88
Tabla 20. <i>Especificaciones del tanque de escaldado N-4 pasos</i> .....	95
Tabla 21. <i>Resultados de la variable merma vs. Tratamiento</i> .....	100
Tabla 22. <i>Descripción de la calidad de escaldado</i> .....	101
Tabla 23. <i>ANOVA multifactorial de Merma vs. Variables</i> .....	103
Tabla 24. <i>ANOVA multifactorial de calidad vs. variables.</i> .....	104

**Tabla 25. *Suma de niveles de las variables para la merma* ..... 135**

**Tabla 26. *Suma de niveles de las variables para la calidad* ..... 139**

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Pollos de engorde (Macho y Hembra).</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 2. Pollo Brasa (izquierda) y Pollo Carne (derecha).</b> .....	<b>23</b>
<b>Figura 3. Cortes de Pechugas s/ piel Brasa de Primera.</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 4. Anomalías del pollo de segunda según el Origen.</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 5. Diagrama de operaciones de proceso del beneficio de pollo</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 6. Calidad de la pechuga escaldada.</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 7. Dibujo Esquemático de la piel de pollo.</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 8. Dibujo esquemático de la pluma del pollo.</b> .....	<b>41</b>
<b>Figura 9. Sección transversal de un tanque escaldado con toberas de aire.</b> .....	<b>44</b>
<b>Figura 10. Tanque de escaldado con agua sucia</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 11. Tanque de Escaldado.</b> .....	<b>71</b>
<b>Figura 12. Sensor de temperatura</b> .....	<b>72</b>
<b>Figura 13. Desarrollo de las Pruebas Experimentales...continuación</b> .....	<b>74</b>
<b>Figura 14. Formato de Control de la Merma y Calidad</b> .....	<b>78</b>
<b>Figura 15. Diagrama de Pareto del pollo de segunda tipo Brasa</b> .....	<b>83</b>
<b>Figura 16. Plano del funcionamiento del tanque de escaldado</b> .....	<b>89</b>
<b>Figura 17. Placas de transferencia de calor</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 18. Controlador de Temperatura</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 19. Gráfico de Control de la Temperatura del Controlador</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 20. Temperaturas del agua de escaldado</b> .....	<b>92</b>
<b>Figura 21. Diferenciación del encendido de los sopladores.</b> .....	<b>94</b>
<b>Figura 22. Conexiones de los Sopladores de aire</b> .....	<b>95</b>
<b>Figura 23. Pechugas sobre escaldadas</b> .....	<b>96</b>
<b>Figura 24. Presencia de cutícula a nivel del tarso del pollo</b> .....	<b>96</b>

<b>Figura 25. Desgarramiento de piel.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 26. Pruebas de rendimiento a 58.5°C el agua de escaldado .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 27. Pruebas de rendimiento a 57°C el agua de escaldado .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 28. Valorizaciones de la Calidad de la pechuga .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 29. Gráfica de Efectos Principales para la variable Merma. ....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 30. Gráfica de Efectos Principales para la variable Calidad.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 31. Interacción de los tres Factores vs. Merma .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 32. Interacción de los tres Factores vs. Calidad .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 33. Gráfico de residuales de la merma.....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 34. Gráfico de residuales de la calidad .....</b>	<b>144</b>
<b>Figura 35. Test de normalidad de la merma .....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 36. Test de normalidad de la calidad .....</b>	<b>145</b>

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1. Secuencia operacional del uso de Minitab para el diseño de experimentos (DOE).....</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 2. Resultados del diseño de experimentos (DOE) usando Minitab para la merma y calidad .....</b>	<b>131</b>
<b>Anexo 3. Resultados de ecuación de Regresión usando Minitab para la merma y calidad .....</b>	<b>132</b>
<b>Anexo 4. Imágenes de la evaluación de la calidad de la pechuga de pollo .....</b>	<b>133</b>
<b>Anexo 5. Construcción de las tablas de análisis de varianza (ANOVA) .....</b>	<b>135</b>
<b>Anexo 6. Pruebas de Normalidad de ANOVA .....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo 7. Tablas estadísticas de Fisher (Fo) .....</b>	<b>147</b>

## RESUMEN

La investigación titulada “Determinación de la correlación de los parámetros de operación con la calidad y merma en la etapa de escaldado del beneficio de pollos tipo brasa” fue desarrollada en la Planta Industrial de Aves de San Fernando S.A, ubicada en Huaral – Lima.

Fue un estudio de tipo correlacional con enfoque cuantitativo y cualitativo, en donde se planteó, determinar la correlación de los parámetros de operación: número de sopladores, velocidad de producción y temperatura con la calidad y la merma del pollo tipo brasa en el proceso de escaldado.

Para ello se planteó una metodología que requirió realizar un diagnóstico situacional de las condiciones de trabajo, las cuales nos permitieron obtener resultados confiables y reproducibles.

La parte experimental se basa en un diseño factorial aleatorio con 2 repeticiones, las cuales conformaron 12 tratamientos de 10 pollos, para el análisis de la obtención de la merma y 10 pollos para la obtención de la calidad. Se recolectaron los datos mediante una hoja de registro tanto para poder determinar la merma y calidad, para ello se procedió a pesar los pollos luego del desangrado y a la salida de la peladora para el cálculo de la merma, y para valorar la calidad se realizó levantando la piel a nivel de la pechuga.

El factor velocidad de producción, con los valores trabajados de 8500 y 9500 pollos/hora, influye significativamente en la merma, según el criterio estadístico con un valor  $p$  de 0.029. La variable temperatura en rangos de 57 y 59°C, han sido significativas, con un valor  $p$  de 0.000. Los coeficientes de correlación obtenidos de las ecuaciones de modelo lineal son bajos ( $R^2 = 25\%$  para la merma y  $R^2 = 67\%$  para la calidad), lo cual alude que podría ser del tipo polinómico. Así mismo los hallazgos

de las condiciones dadas en el proceso de escaldado son explicados con el diagnóstico situacional realizado; y sin embargo, aún con estas condiciones los valores obtenidos son aceptables para la planta.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Según el Diario Gestión (2014) el pollo es la carne preferida por los peruanos con un 53% del consumo total de carnes, basándose en cifras de los Ministerios de Agricultura y Riego (Minagri) y de la Producción (Produce). En lo referente a canales de comercialización, en Lima Metropolitana la venta de carne de pollo se concentra en los mercados de abastos (77% del volumen de venta), seguida de la demanda de las cadenas de pollerías (15%), y el 8% restante se destina a supermercados, restaurantes, hoteles, etc. En la creciente demanda por el consumo de la carne de pollo y de las exigencias de calidad de los clientes, será el de plantearse retos en las industrias avícolas una de ellas y dentro de las más importantes es el de satisfacer las expectativas del cliente ofertando productos de calidad controlando un rendimiento adecuado en la planta industrial que la procesa.

Actualmente la conversión de carne de pollo se realiza de manera industrial en las plantas de beneficio, donde se tiene una elevada producción como el pollo tipo brasa la cual es enfocada al cliente de las pollerías, y los filetes y trozados empacados en bandejas y bolsas plásticas para los supermercados. El pollo, por ser un animal susceptible a los hematomas y tener una variedad de tamaño, presenta diferentes defectos provenientes tanto de granja, saca y del procesamiento en planta; los cuales generarían reclamos del cliente externo si no se realiza una buena clasificación en la calidad respecto a la apariencia, la causa de estos defectos se disminuye con un buen control en cada operación.

Hoy en día existe un gran avance en la tecnología de la industria avícola, pero si no se conoce la correlación que se tiene entre los parámetros de cada operación en el proceso de beneficio de pollos tipo brasa se generarán impactos negativos en el rendimiento y en la calidad del pollo.

Uno de los factores que indica que no hubo un buen control en la operación de escaldado es una variación desconocida del peso perdido y el aspecto del nivel de cocción del músculo de la pechuga de pollo. Los indicadores de producción y calidad no son registrados, usualmente por falta de conocimiento, por ello es que no se encuentra disponible esta información, lo cual hace que no encontremos las oportunidades de mejoras en las diferentes etapas del procesamiento. Es importante por tal motivo implementar una política de cero desperdicios y para ello es sustancial establecer la correlación de variables en las operaciones para tener un mejor control de la producción y calidad del pollo, y así poder satisfacer cada vez mejor al cliente

Estas consideraciones permiten plantear como objetivo general, en este trabajo de investigación, determinar la correlación de los parámetros: número de sopladores, velocidad de producción y temperatura con la calidad y la merma del pollo tipo brasa en el proceso de escaldado; para ello se requiere empezar por establecer una metodología que abarque desde efectuar el diagnóstico situacional del proceso, a través del levantamiento de información de las condiciones de trabajo, para identificar las condiciones operacionales y de infraestructura que impacten en los resultados, con el fin de reestructurar y asegurar las condiciones operativas que permitan obtener resultados confiables y reproducibles. Los otros objetivos específicos que se plantean son: determinar los porcentajes de merma y la calidad de la pechuga usando procedimientos cuantitativos y cualitativos; y determinar la correlación existente entre las variables indicadas con la merma y la calidad de la pechuga usando técnicas estadísticas.

Al encontrar la correlación entre las variables del proceso de escaldado con la calidad y la merma del procesamiento del pollo, se dispondrán de mejores herramientas para reducir los reclamos del cliente externo y mantener el pensamiento

cero desperdicios. A su vez se contribuirá con el accionar de los operadores de proceso de las plantas avícolas en mantener un buen clima para enfrentar diferentes retos que se presenten en sus operaciones y puedan estos mantener un desarrollo sostenible en el procesamiento del ave.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En el presente capítulo se expone la información revisada que sostiene a los objetivos planteados en esta investigación:

### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Muñoz, Díaz, & Cabrera (2011) indican que “para obtener un producto de calidad es necesario un buen manejo desde la producción (granja) hasta la presentación a nivel de anaquel (procesamiento); por lo cual, es de interés en el sacrificio de aves aplicar tecnologías de punta en las operaciones del proceso de beneficio, específicamente en las etapas de recepción, escaldado, desplume, evisceración, enfriamiento, empaque y almacenamiento”.

Ricarte (2005) establece que “las operaciones de beneficio mencionadas pueden ocasionar defectos en el producto como lesiones, huesos rotos, partes faltantes y un número excesivo de reprocesamientos lo cual ocasionaría pérdidas económicas significativas, así que estas etapas deben ser escrupulosamente vigiladas”.

Núñez (2015), expresa que “la cadena de la zona de matanza es la que dicta el ritmo de la faena de una planta avícola, debe ser seguido por las subsecuentes cadenas y debe estar en armonía con la fuerza laboral y la capacidad de los equipos presentes en cada sala, para que se logre extraer el mejor resultado global de la planta”.

Las altas y bajas velocidades impactan en la calidad del proceso y el producto, por ello más que un problema económico al bajar la velocidad es subir la velocidad, porque también se convierte en un problema de clima laboral en las operaciones de la planta (Núñez, 2015).

Núñez (2012) explica que “los ahorros en maquinaria pueden ser más costosos para las empresas al paso del tiempo, por obtener canales de baja calidad debido a condiciones de desplumado más severas; por ejemplo, el ajuste que se realizan a las

desplumadoras de acuerdo al tamaño del ave para asegurar un óptimo desplumado sin daños. Sin embargo, las máquinas no deben de ajustarse para compensar un escaldado pobre, ya que la presión en las canales puede causar daños en las alas, piernas y piel, y hacer que salga el contenido intestinal, aumentando la contaminación cruzada a través del proceso.

Nunes (2012) sostiene que “los dedos de plástico son el corazón de las desplumadoras, estos deben ser inspeccionados diariamente, y aquellos en condiciones inadecuadas deben ser reemplazados para evitar un pobre desplumado y daños a las aves”.

Muñoz, et al (2011) afirman que, “de las diferentes operaciones del proceso de beneficio de pollos, el proceso de escaldado es una de las etapas más importantes a controlar, después de la recepción, porque variables como la temperatura y velocidad en la línea afectan el porcentaje de desplumado y la despigmentación en cualquier tipo de ave ya sea con un pollo tipo ave blanca (brasa) o campesino (carne).”

Asimismo, estos autores citan a Ricaurte (2005) indicando que, en el escaldado, “un inadecuado manejo ocasiona pérdidas de peso por deshidratación que oscilan entre el 0,5% y el 2% respecto al peso del pollo vivo”.

Ricaurte (2005) establece que “las temperaturas superiores a 56°C dañan la epidermis, lo cual se agrava en la desplumadora, incluso si ésta funciona correctamente. La piel sobreescaldada produce un fluido seroso, que expuesto al aire se solidifica gradualmente; después del oreo la superficie afectada toma un color oscuro (pardo) irreversible.

En casos extremos se produce la desnaturalización térmica de las proteínas, con lo cual piel y músculos parecen cocidos, de color más blanco, consistencia friable, y tacto resbaloso”.

Rusell (2011) puntualiza que “tan sólo con dos minutos de exposición en un escaldador, que se encuentra a 54°C (130°F), la grasa que está debajo de la piel del ave se empieza a convertir en líquido, y por tanto, también se empezará a drenar por debajo de la piel cuando las canales suspendidas de cabeza sean desplazadas a lo largo de la línea, y sobre todo, cuando sean colocadas en el chiller (tanque de enfriamiento), donde existe una tremenda agitación. Esta pérdida o “fuga” de grasa finalmente resulta en la reducción del rendimiento”.

Muñoz, et al. (2011) indican que “la temperatura de la escaldadora depende directamente de la velocidad a la cual se esté procesando el pollo. Velocidades por debajo de 90 unidades/minuto, con temperaturas en la primera parte de 51 a 53°C y en la segunda de 52 a 53°C, permiten que la epidermis (color amarillo) quede adherida al ave”.

Muñoz, et al. (2011) concluye que “en el procesamiento de pollo blanco, velocidades entre 110 y 130 unidades/minuto, con temperaturas en la primera parte de la escaldadora de 54 a 54,5°C y en la segunda de 57,5 a 58°C, son recomendadas, teniendo como resultados de la evaluación que el porcentaje de pluma, al final de las desplumadoras, es mayor en el pollo carne (10 a 17 %) que en las blancas (5 a 11%).

Las temperaturas de escaldado por debajo de 54°C, hacen que la apertura de los folículos en las aves sea menor y en consecuencia la pluma más difícil de retirar. El área que más se despigmenta, en la despigmentación de pollo carne, es la pechuga con porcentajes de hasta el 35%, contra un 20% de la rabadilla, con grado de sobre escaldado 1 y porcentaje de despigmentación entre 15 y 26% (Muñoz, et al. 2011).

Nunes (2012) hace referencia que “las canales de piel amarilla se deben someter a un escaldado suave (55°C), mientras que las canales de piel blanca se escaldan más severamente (más de 57°C). En cualquiera de los casos, de saber balancear el tiempo de inmersión y la temperatura del agua en conjunto con la eficiente agitación del agua para dar a los folículos suficiente calor sin dañar la piel, a las pechugas y a la capa subcutánea de grasa”.

La tabla 1 presenta diferentes temperaturas de operación del escaldador según el tiempo de procesamiento, de acuerdo al tipo de pollo y el tipo de escaldado que se busca.

**Tabla 1. *Tiempos y Temperaturas en el proceso de Escaldado de Aves.***

Usado para pollo Tipo	Tipo de Escaldado	Temperatura del agua (°C)	Tiempo (s)	Autor
Fresco	Escaldado Suave	50 - 51.5	210	Parry, 1996
Congelado	Escaldado Duro	56 - 60	120 - 150	
Fresco	Escaldado Suave	53.4	120	Sams y. Mckee 2001
Congelado	Escaldado Duro	62 - 64	45	
Fresco	Escaldado Suave	50 - 53	60 - 180	Barbut. S, 2002
Congelado	Escaldado Duro	59 - 61	45 - 90	
Fresco	Escaldado Suave	50 - 53	60 - 180	Guerrero y H. Hui 2010
Congelado	Escaldado Duro	> 60	45 - 90	

Barbut, S (2002) menciona que en “todos los procedimientos de escaldado, la agitación adecuada del agua y una temperatura uniforme del agua aseguran una buena eliminación de plumas”. Por otro lado, Cervantes (2010) señala que la “agitación del agua no es uniforme; por la que es la turbulencia la que permite que el agua penetre la telaraña de plumas y llegue hasta la piel”.

Sobre el rendimiento Ziolecky (1987) indica que, “para los pollos carne de la misma raza, sexo y edad, el contenido de los productos de desecho, tales como sangre, plumas, cabeza, patas, intestinos, pulmones, etc. es constante, por lo que tiene una escasa influencia sobre el rendimiento de la canal, expresado en porcentaje sobre el peso vivo.

Ziolecky (1987) anuncia que ha podido observar que el rendimiento de la canal varía notablemente entre diferentes mataderos. Estas variaciones pueden atribuirse, además de a las diversas técnicas de elaboración, a los periodos de ayuno impuestos antes del sacrificio y a las distintas cantidades de grasa abdominal presente en los pollos”.

Ziolecky (1987) reseña el resultado de otros investigadores, los cuales han calculado que “por cada 1000 kg de peso vivo, 21 kg están representados por la grasa subcutánea, 7.1 kg por la del estómago, 6.1 kg por la visceral y 1.3 kg por la del corazón, sobre 35.5 kg de grasa total, por término medio.

Tanto las investigaciones experimentales como las observaciones directas en las granjas han conducido a la conclusión de que la acumulación excesiva de grasa en el pollo carne hasta el 4% del peso vivo, es el problema más grave en lo que respecta a la rentabilidad y la calidad de la carcasa de pollo (Ziolecky, 1987).

La necesidad de que se efectúen extensas investigaciones sobre la reducción a valores mínimos del contenido de grasa en el pollo carne, a fin de reducir las mermas y obtener la satisfacción por parte del consumidor respecto al producto acabado y para mejorar la eficiencia económica en el proceso de elaboración (Ziolecky, 1987).

Ziolecky (1987) indica que “los estudios que deben realizarse en este sentido deben abarcar los factores genéticos, nutricionales y ambientales, puesto que todos forman parte de este problema”.

## 2.2 Bases Teóricas de la Industria del Pollo Beneficiado

Estas definiciones ayudarán a entender el proceso de beneficio del pollo.

### 2.2.1 Materia prima

#### a) Pollo

El pollo es un ave cuyo fin se prepara para la alimentación humana, el valor de su carne en la alimentación tiene dos cualidades ser altamente nutritiva y económico.

Duran (2014) señala que el termino BROILER es aplicado a los pollos y gallinas que han sido seleccionados especialmente por rápido crecimiento. Las variedades broiler están basadas en cruces híbridos entre Cornish (línea padre) White, New Hampshire y White Plymouth Rock (línea madre)”.

Cadena (2013) anuncia que “el pollo de carne, denominado también pollo parrillero o broiler, es un ave joven (macho o hembra), ver figura 1, cuya edad está entre seis – ocho semanas, criado especialmente para aprovechar su carne”.



**Figura 1. Pollos de engorde (Macho y Hembra).**

*Fuente: El sitio Avícola*

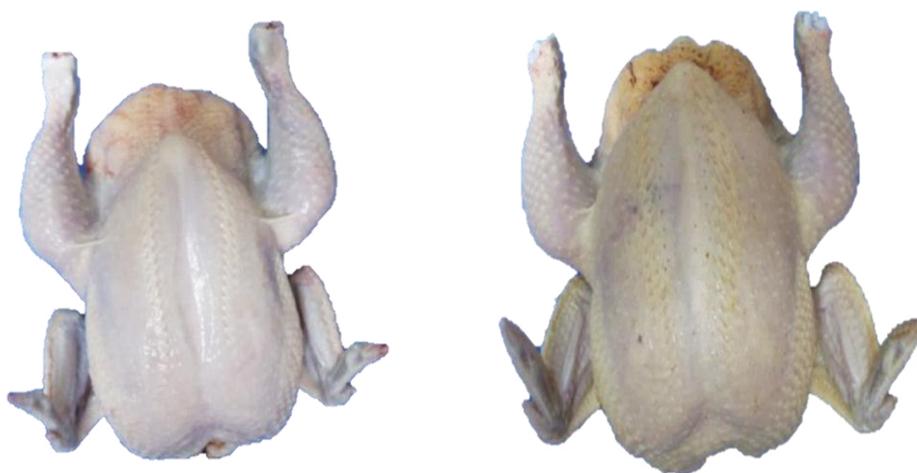
Existen varias líneas genéticas, entre ellas, de la empresa Cobb-Vantress, Inc. que produce la línea Cobb500 y Grupo Aviagen bajo la Marca o línea Ross; de la Línea Cobb 500, líder en la industria de pollos de carne, presenta las siguientes características: de rápido crecimiento, baja conversión alimenticia, excelente

rendimiento en carne, alta viabilidad, alta rusticidad en el manejo y de fácil adaptación a cambios climáticos (Cobb, 2009).

Siguiendo lo mencionado por Cadena (2013), el procesamiento se inicia con el proceso de saca, que consiste en coger a los pollos y colocarlos en las jaulas, dicha técnica puede ser manual o mecánica y en seguida debe ser transportado a la planta de beneficio.

Estos pollos son sometidos al proceso industrial cuyo fin es transformar su músculo a un producto alimenticio, el cual es destinado para el consumo humano; en este proceso de beneficio del pollo se reconocen dos tipos de proceso industriales, de modo que sus presentaciones finales son como Pollo Brasa y Pollo Carne propiamente dicho, las que se muestran en la figura 2.

En este trabajo se desarrollará investigaciones para pollo Tipo Brasa de la línea Cobb500 cuya demanda representa la mayor producción en la planta de beneficio de pollos.



**Figura 2. Pollo Brasa (izquierda) y Pollo Carne (derecha).**

***Fuente: San Fernando S.A***

Además de las anomalías que pueda sufrir el ave en la granja y saca; también sufre anomalías en planta durante el proceso de beneficio.

Estos defectos se atribuyen a la pérdida de la calidad e incremento de mermas lo cual hace que no adquieran los mejores posicionamientos para llegar al mercado, este grado de calidad se clasifica en: pollo de primera y pollo de segunda siendo estas algunas definiciones:

- Pollo de primera: Como pollo entero, la desperfección que pudiera presentar es mínima y cumple con las expectativas del cliente. Y dentro del proceso de corte y fileteo existe un proceso de embandejado, ver figura 3, donde como requisito de su calidad en el producto exige una aceptabilidad es decir la homogeneidad en el grado de cocción de la pechuga que no indique un sobre escaldado en ninguna parte de la pechuga, si no pasaría a ser procesado en otras presentaciones.



**Figura 3. Cortes de Pechugas s/ piel Brasa de Primera.**

**Fuente: San Fernando S.A**

- Pollo de segunda: Es un pollo que ha sufrido algún tipo de golpe o maltrato los cuales se clasifican por el origen de la anomalía sea de granja, saca o planta. Esto defectos tienen que ser retirados y descartados como desperdicios, algunas de estas anomalías son presentadas en la figura 4.

Origen	Anomalía	Imagen
Granja	Hematoma en Axila	
Saca	Hematoma en ala (axila, brazuelo, punta de ala)	
Planta	Veteado	

**Figura 4. Anomalías del pollo de segunda según el Origen.**

*Fuente: San Fernando S.A*

### 2.2.2 Clasificación taxonómica

En la tabla 2 se presenta como las aves Broiler se encuentran clasificadas taxonómicamente, en el reino animal:

**Tabla 2. Clasificación taxonómica**

Reino	Animal
Tipo	Cordados
Subtipo	Vertebrados
Clase	Aves
Subclase	Neorinte 4
Superorden	Neognatos
Orden	Gallinae
Suborden	Galli
Familia	Phaisanidae
Genero	Gallus
Especie	Gallus domesticus
Nombre	Broiler

### **2.2.3 Proceso del beneficio de pollo**

Actualmente en el Perú se conocen 2 tipos de procesos de transformación de la carne de ave, llamase uno con piel blanca y el otro con piel amarilla siendo una exclusivamente para pollerías y la otra para los supermercados respectivamente. Así también se comercializan filetes, los cuales no exigen sea de un pollo de piel blanca o piel amarilla, en el caso de las piezas de pollo trozadas se brinda según el requerimiento del cliente.

El proceso de beneficio de pollos es la conversión del músculo a carne donde intervienen una suma varias operaciones, según la FAO (2015) el Codex Alimentarius define a la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”.

En los siguientes párrafos explicaremos las diferentes operaciones que se desarrollan durante el proceso de beneficio para la conversión del músculo a carne.

#### **a) Recepción**

Los camiones llegan con las jaulas llenas de aves a la planta de beneficio, las jaulas con las aves son descargadas y llevadas por una faja transportadora hasta la zona de colgado.

#### **b) Colgado**

Las aves son sacadas de las jaulas para ser colgadas en los ganchos de las patas. El abastecimiento a esta zona es continuo. Se requiere que la zona mantenga cerrada e iluminada con fluorescente de color azul violeta o rojo y de esta forma se mantiene la calma de ave. Si en caso un ave está muerta esta debe ser separada inmediatamente.

#### **c) Aturdido**

Una vez colgadas las aves, se procede a conmocionarlas eléctricamente. El tipo de aturdido eléctrico insensibiliza al ave de 1.5 a 2 min. Esta insensibilización es

provocada por una tensión eléctrica de 40 a 42 V para pollos cuyo peso vivo está en el promedio de 2.5 Kg, la cual genera que el ritmo cardiaco disminuya, el efecto que produce es el espasmo electroléptico cuya manifestación es una contracción inmediata de todos los músculos esqueléticos.

#### **d) Degüello**

Este usualmente es un degollador automático, donde las aves, a través de una guía de acero inoxidable, son direccionadas a la cuchilla, donde el objetivo es realizar un corte de 1 a 2 cm en los conductos sanguíneos, e inicia con el desangrado. Así mismo se cuenta con un inspector de matanza en esta zona, que hace posible que todas las aves inicien con el proceso de desangrado.

#### **e) Desangrado**

Consiste en el tiempo que el ave realiza un recorrido desde el corte en la arteria carótida (conducto sanguíneo) hasta llegar al escaldador, el tiempo de desangrado es importante por marcar el color, sabor de la carne; siendo el objetivo retirar del 3 al 4% del peso del pollo vivo. Aquí se debe producir la muerte de las aves la cual se verifica con el detenimiento de la respiración.

#### **f) Escaldado**

Es un proceso donde se sumerge al canal en agua caliente donde se tiene como objetivo dilatar los folículos de las plumas para que el proceso de desplumado sea lo más eficiente y eficaz posible. Se debe tener encendido los sopladores para mantener la temperatura contante y así también se debe tener controlado el ingreso de vapor. En el capítulo 2 se ahondará más de este tema el cual será objeto de nuestro estudio en esta investigación.

#### **g) Desplumado**

Las máquinas desplumadoras cuentan con dedos de goma y la regulación de las máquinas se hace en base al peso promedio, esto garantiza el desplumado óptimo, cuyo objetivo es retirar el mayor porcentaje de plumas del ave.

En este punto, antes de que las aves pasen al eviscerado, es un buen momento para realizar un control de la canal para decidir si se retira de la línea o si continúa su procesado (MAGRAMA, 2006).

#### **h) Corte de cabeza**

Es un proceso mecánico que consta de unas guías y una cuchilla que posiciona la cabeza del pollo en un ángulo de 45° para realizar el corte de la cabeza.

#### **i) Corte óseo y piel de pescuezo**

La separación del pescuezo del pollo se realiza mediante un corte óseo con tijeras neumáticas, consiguientemente se hace la separación del pescuezo mediante un corte de piel con un cuchillo cuyo ángulo de corte es de 25°.

#### **j) Corte de patas**

Se realiza mediante una cortadora mecánica, cuyo objetivo es entregar al posterior proceso un pollo sin patas.

#### **k) Proceso de patas**

En este proceso las patas se sumergen en agua caliente para ablandar la cutícula, y posteriormente por medio de una máquina compuesta de dedos de goma se retira la cutícula.

#### **l) Extracción de cloaca**

Una vez que el pollo llega al siguiente proceso se hace el recolgado en la cadena aérea y mediante el uso de una pistola neumática, al accionar el gatillo, la cuchilla gira y expone la cloaca hacia afuera.

**m) Apertura abdominal**

Se hace uso de tijeras neumáticas cuyo objetivo es realizar el corte vertical a nivel del abdomen y de esta forma preparar al pollo para el siguiente proceso.

**n) Eviscerado**

Las aves ingresan a la máquina evisceradora, que consta de cucharas mecánicas y que son reguladas por el peso promedio del pollo, para que las cucharas ingresen a la parte interna del ave y que luego al salir expongan el paquete de vísceras, se realiza este ciclo con las cucharas en cada ave continuamente.

**o) Cosecha de vísceras**

La cosecha se realiza manualmente, donde se separan las vísceras del pollo jalando éstas hasta el proventrículo, luego de la separación de todo el paquete, se separan las mollejas con los intestinos a una tina colectora y el hígado con corazón en otra tina colectora.

**p) Lavado y pulido de mollejas**

Las mollejas se separan de los intestinos del ave y el proventrículo, luego mediante duchas de agua y una cadena de púas se realiza la apertura de la molleja, posterior a ello cae a la mesa de pulido, donde se retira la cutícula de la molleja.

**q) Extracción de pulmones y tráquea**

Esta operación se realiza mecánicamente por un sistema de vacío, cuya presión de vacío es de 5 bar, al accionar los gatillos de las pistolas se succionan los pulmones que están pegados a la costilla, de la misma manera con otra pistola se extrae la tráquea del pollo.

**r) Lavadora externa e interna del ave**

Es muy importante mantener el pollo limpio y evitar la mayor contaminación en el siguiente proceso, consiste en un enjuague con duchas a presión en la carcasa por la parte externa e interna.

**s) Proceso de enfriamiento**

Las carcasas son sumergidas en los tanques de enfriamiento, cuyo tiempo de residencia, turbulencia del agua, la reposición del agua son factores importantes para así lograr el objetivo de mantener una temperatura debajo de los 4°C. Aquí también se da en paralelo el proceso de desinfección.

**t) Recolgado**

El recolgado se realiza en el momento que el pollo sale del último tanque de enfriamiento se cuelga de una sola pierna, durante este colgado, el pollo hace un recorrido a fin de garantizar que escurra en lo posible del 2 al 3 % de agua absorbido del proceso anterior.

**u) Pesado y clasificación**

Luego del escurrido se requiere garantizar la clasificación la cual se realiza en base al cumplimiento de los estándares de calidad registrados en la ficha técnica del producto (peso y apariencia).

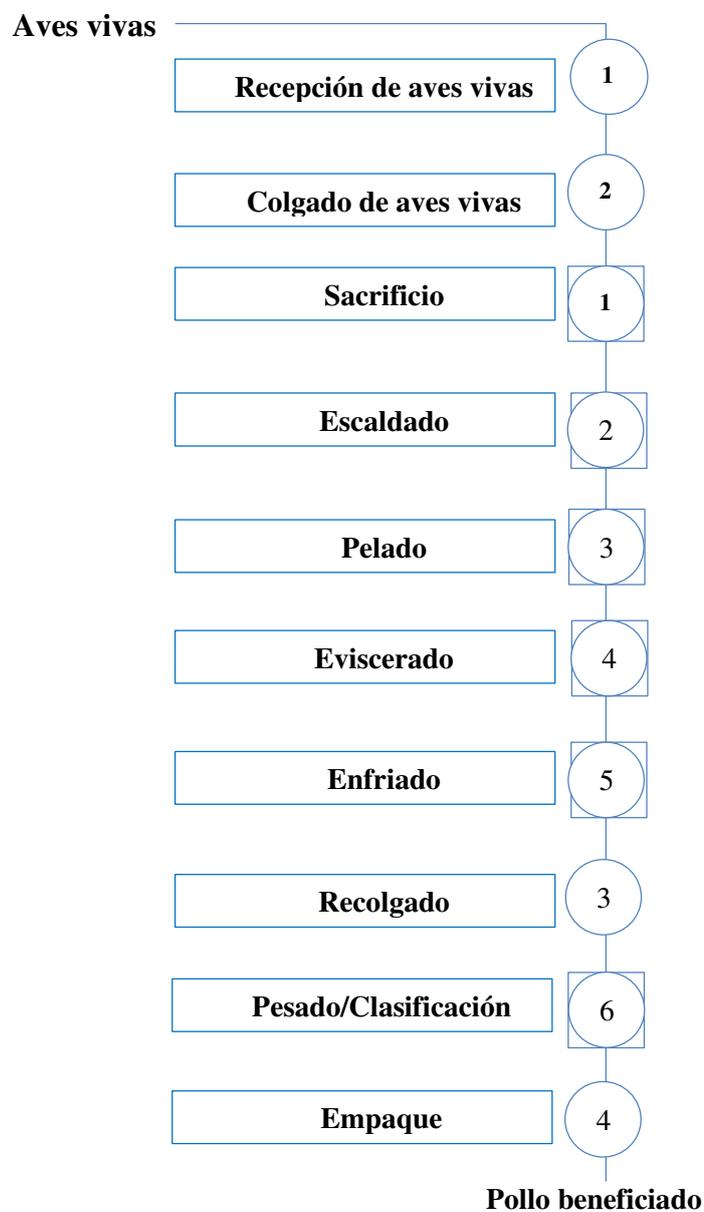
**v) Empacado**

El empaque que se usa son tinas de Polietileno de Baja Densidad de uso alimentario, los pollos son colocados en un orden específico, y deben ser identificadas con un rótulo.

**w) Almacenamiento**

Las tinas con pollo son direccionadas a través de fajas transportadoras a las cámaras de conservación cuyas temperaturas están en un rango de 0 a 2°C correspondiendo a 4 días de vida útil.

En el Diagrama de Operaciones de Proceso (DOP) de la figura 5 se puede evidenciar que el proceso de escaldado es la segunda etapa cuya actividad es combinada (operación más verificación).



**Figura 5. Diagrama de operaciones de proceso del beneficio de pollo**

### **2.3 Fundamentos del Proceso de Escaldado de Pollos**

El propósito del escaldado es el de aflojar la inserción de las plumas de los folículos, resultado que es conseguido por la desnaturalización de las estructuras proteicas que las mantienen y sujetan mediante el uso de agua caliente o vapor. Así mismo se define en la Norma Técnica Peruana 201.054 – 2001 como la inmersión del ave en agua a una temperatura entre 50 °C y 62 °C durante un período de tiempo establecido para cada especie sea pollo, gallinas, gallos, pavos, patos y gansos, para facilitar el desplumado.

Vickie (2002) indica que “la desnaturalización de las proteínas se puede producir como resultado del calor, modificación de pH, modificación de la fuerza iónica, congelación y cambios de la superficie”. Asimismo, Cervantes & Sánchez (2009) señalan que “la desnaturalización de la proteína no es más que la cocción de esta, acción que abre las moléculas de la proteína muscular, la cual pasa de estructuras cuaternarias a estructuras terciarias o secundarias, perdiéndose la flexibilidad o elasticidad del folículo de la pluma. Por lo tanto, no hay resistencia al halado de las plumas, puesto que se disminuye la capacidad para retener agua. De esta manera la fuerza mecánica del jalado de las plumas, no encuentra elasticidad y el folículo es menos resistente a la presión, lo que facilita el proceso de remoción”.

Cervantes & Sánchez (2009) establecen que para que se genere un buen escaldado se deben verificar y controlar las siguientes variables permanentemente:

- Temperatura del medio (generalmente agua)
- Tiempo
- Agitación de agua
- Inmersión completa de las aves.

Los parámetros de trabajo tiempo y temperatura determinarán el color final de los pollos, amarillo o blanco. Esto se debe a la remoción de la epidermis o cutícula llámese también primera capa o piel según la intensidad del proceso, esta capa contiene pigmentos que dan el color característico de la piel del ave (Cervantes & Sánchez, 2009).

El completo humedecimiento de las plumas se adquiere cuando el nivel del agua cubre completamente al ave, esto garantiza la remoción de gran parte de las plumas, siendo las más difíciles y requieren hacerlas manualmente el desplumado de las zonas de la rabadilla y la punta de alas (Cervantes & Sánchez, 2009).

Cervantes & Sánchez (2009) afirman que “debido a la naturaleza dinámica del proceso de escaldado, las condiciones en las cuales se lleva a cabo varían constantemente a lo largo de los tanques usados en el proceso. Se debe entender, que las condiciones van a variar en diferentes zonas del tanque y se van a encontrar zonas frías, y zonas calientes, hecho que puede afectar la uniformidad del proceso”.

Mead (2004) refiere que “el agua de escaldado se puede calentar mediante inyección de vapor directo o por medio de vapor de baja presión o agua caliente que circula a través de los paneles de calefacción montados en el tanque de escaldado”.

Es preferible que el flujo del agua sea en contracorriente con el flujo de los pollos para realizar un completo lavado de las aves en el proceso y minimizar la contaminación cruzada. Debido a la total inmersión del ave en estos tanques, las fuentes de contaminación con microorganismos incluyen: la contaminación con el material externo del ave que contiene polvo, tierra, material fecal, y otros que hayan adherido al plumaje de las aves. Adicionalmente, se tiene la posibilidad de liberar contaminación de la cloaca y del esófago del ave, lo que podría contribuir con la contaminación cruzada (Cervantes & Sánchez, 2009).

Debido a esto, en los últimos años se han desarrollado diferentes alternativas para reducir la carga orgánica de los pollos entrantes en los tanques de escaldado y como bien lo mencionan Cervantes & Sánchez (2009) en algunos de sus casos estudiados explican que se hace uso de un cepillo o duchas que lavan la carcasa antes de ingresar al escaldado para disminuir la contaminación orgánica externa. También se ha evaluado el uso de sistemas multi-tanque (1 a 3 tanques), en vez de realizar el proceso convencionalmente en un solo recipiente, implementación que ha contribuido a la mejora del proceso, ya que se pueden utilizar combinaciones de temperatura y tiempos de los diferentes tanques para optimizar el proceso, e incrementar la limpieza del agua durante la transferencia entre tanques, hacia aguas más limpias.

Por último, Cervantes & Sánchez (2009) comentan que “se ha evaluado la aplicación de ayudantes del proceso como cloro acidificados e hidróxidos alcalinos al agua de la escaldadora, ya sea para el control de las bacterias por inactivación o remoción, o para mejorar la desnaturalización de las proteínas del folículo”. Sin embargo, los resultados han sido pobres debido a que reaccionan químicamente o lo disipan al ambiente en forma de gas cloro por la continua adición de materia orgánica, así también se ha mostrado que ayudan al proceso de desplume y, en el caso de acidificantes, se suelen usar para controlar el crecimiento bacteriano en el agua de la escaldadora, sobre todo en caso de la que operan a bajas temperaturas; pero sus altos costos han hecho que no sea utilizado con importancia (Cervantes & Sánchez, 2009).

### 2.3.1 Calidad

Para medir la calidad del proceso de escaldado se medirá a nivel de los músculos de la pechuga. Vickie (2002) expresa que la medición de la calidad de los alimentos tiene aspectos tanto subjetivos como no subjetivos. La apariencia, la textura y el favor son atributos subjetivos, mientras la calidad nutricional y la calidad microbiológica no lo son.

La apariencia es un factor de calidad importante, porque es la primera imagen que se llevan los consumidores al seleccionar un alimento; por ejemplo, el color, indica el grado de madurez, de cocción, de frescura, de fuerza, etc. Este concepto es reafirmado por Qiao, Fletcher, Smith, & Northcutt (2001) donde indican que el color es un atributo de calidad importante que influye en la aceptación de la carne de aves de corral por parte del consumidor.

En el caso de una apariencia de color marrón en la carne de la pechuga de pollo es por la presencia misma de oxidación de grasas saturadas e insaturadas como  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3; Forest, Aberle, Hedrich, & Merkel, (2001) explica este fenómeno del color marrón cuando, el pigmento color púrpura deoximioglobina (DeoxyMB) se expone al aire, este en contacto con el oxígeno se convierte a oximioglobina (OxyMb), la cual le da el color característico a la carne de rojo brillante o cereza. Pasado unas horas o días de exposición al aire, la OxyMB se convierte en metamioglobina (MetMBb), en la cual una molécula agua sustituye la molécula de oxígeno y produce un color marrón.

Por lo tanto, las pechugas de pollo que tengan un color *sui generis* al músculo será un indicador de calidad y si no es así esto es juzgado como un defecto de calidad.

En el decreto N° 37548-MAG (2013), en el capítulo XI y artículo 96 indica que todo canal, parte de canal u órgano con lesiones, anormalidades o contaminaciones, será condenada total o parcialmente; teniendo como órgano para hacer cumplir con lo

establecido en dicho decreto, al Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), así también dentro del decreto clasifica al sobre-escaldado, y lo define como un exceso de escaldado el cual se condenará por la apariencia de cocinado. Se menciona dos evaluaciones en relación a la intensidad de cocción a nivel del músculo de la pechuga, por el cual se efectúa un decomiso parcial (Leve cambio de coloración en el músculo.) y total Cambio total de coloración del Músculo (blanquecino) (SENASA, 2013)

En referencia a la valoración en la línea genética, Cobb Beavers (2013) describió el grado de escaldado en función al nivel de cocción mediante fotografías, es de ahí que se basa en la explicación de la calidad a nivel muscular de la pechuga en escala, tanto para comidas rápidas y operaciones de embandejado luego del proceso de escaldado.

La resolución de la República de Colombia, menciona que los requisitos para las operaciones de escaldado y desplume son establecer un buen ajuste de temperatura y tiempo, de acuerdo a las condiciones del ave, para evitar el desgarramiento de la piel, el sobre-escaldado y garantizar la remoción total de las plumas en la etapa de desplume (Palacio, 2007).

Osgood, Suci, & Tannenbaum (2002) crean una escala que se basa en la medición significativa de manera subjetiva o connotativa; esto quiere decir que se puede desarrollar una escala de valoración basada en imágenes inherentes a las características del sujeto de estudio. La obtención de la tabla de valoración, medidas descriptivas, se realizan por puntuaciones factoriales, que consiste en la multiplicación de la cantidad de sujetos y la cantidad de puntuaciones obtenida, dividida entre el número de sujetos.

La descripción de la columna de Nivel de cocción de la tabla 3, se dá en referencia a lo presentado por las fotografías de la figura 6.

**Tabla 3. Conceptos de calidad de la pechuga en el proceso de escaldado**

Escala	Nivel de Cocción	Cliente/Presentación	Intensidad a nivel muscular
Nivel 0	Ninguno	Embandejado o deshuesado	Ningún cambio
Nivel 1	Ligero	Embandejado o deshuesado	Leve cambio
Nivel 2	Moderado	Comida rápida	Leve cambio
Nivel 3	Severo	Comida rápida	Cambio Total



**Figura 6. Calidad de la pechuga escaldada.**

**Fuente: Beavers (2013)**

### 2.3.2 Merma

Plaza (2013) explica que es la pérdida física, en el volumen, peso o cantidad de las existencias, ocasionada por causas inherentes a su naturaleza o al proceso productivo, que en caso de los productos cárnicos es la disminución de peso evidenciados en la toma de pesos antes y después de cada etapa de los procesos de fabricación (embutido, cocción, atemperado y enfriamiento).

En la industria de alimentos las mermas son distintas en cada empresa y deben ser estandarizadas en cada proceso. La variación de las mermas depende de cada producto y existen muchos factores que pueden influenciar en los procesos de producción y estar relacionados con diversas tareas como la calidad de la “materia prima”, los equipos, utensilios empleados, los procedimientos de producción y el trabajo del personal, entre otros.

### **2.3.3 Tipos de escaldado**

Comercialmente se usan dos tipos básicos de escaldado, con base en las condiciones con respecto a tiempo y temperatura del medio: escaldado suave “piel amarilla” y escaldado duro o alto “piel blanca”.

Cada uno de estos procesos van a tener efectos diferentes tanto en la calidad, la inocuidad, y en los rendimientos del producto procesado (Cervantes & Sánchez, 2009).

#### **a) Escaldado Suave**

Cervantes & Sánchez, (2009) sostienen que el escaldado suave, en general, es considerado el proceso cuyo objetivo es mantener la epidermis o la capa periférica, los efectos que tienen, en cuanto a la calidad del producto, es que causa el mínimo daño en la piel, sin lograr separar la epidermis de la dermis, y por lo tanto no se remueve la cutícula (superficie de color amarillo).

Por lo tanto, al finalizar el proceso de desplumado se podrá observar, en el pollo pelado, la cutícula en la piel que se caracteriza por un color amarillo pálido o amarillo intenso; este se describe como un requisito en el estándar de la calidad que caracteriza como frescura del pollo en el mercado (Cervantes & Sánchez, 2009).

#### **b) Escaldado Duro**

Se conoce al tipo de escaldado que se realiza a mayores temperaturas como el escaldado duro, cuyo objetivo es diferenciarlo del escaldado suave por el retiro de la

epidermis, sus condiciones de trabajo son a temperaturas altas y en menor tiempo, con esto se logra eliminar la cutícula; por lo tanto, durante el desplumado mecánico, no se mantendrá la epidermis, es decir el pollo pelado será de color blanco, cumpliendo con el estándar de calidad requerido (Cervantes & Sánchez, 2009).

#### **2.3.4 Características de la piel**

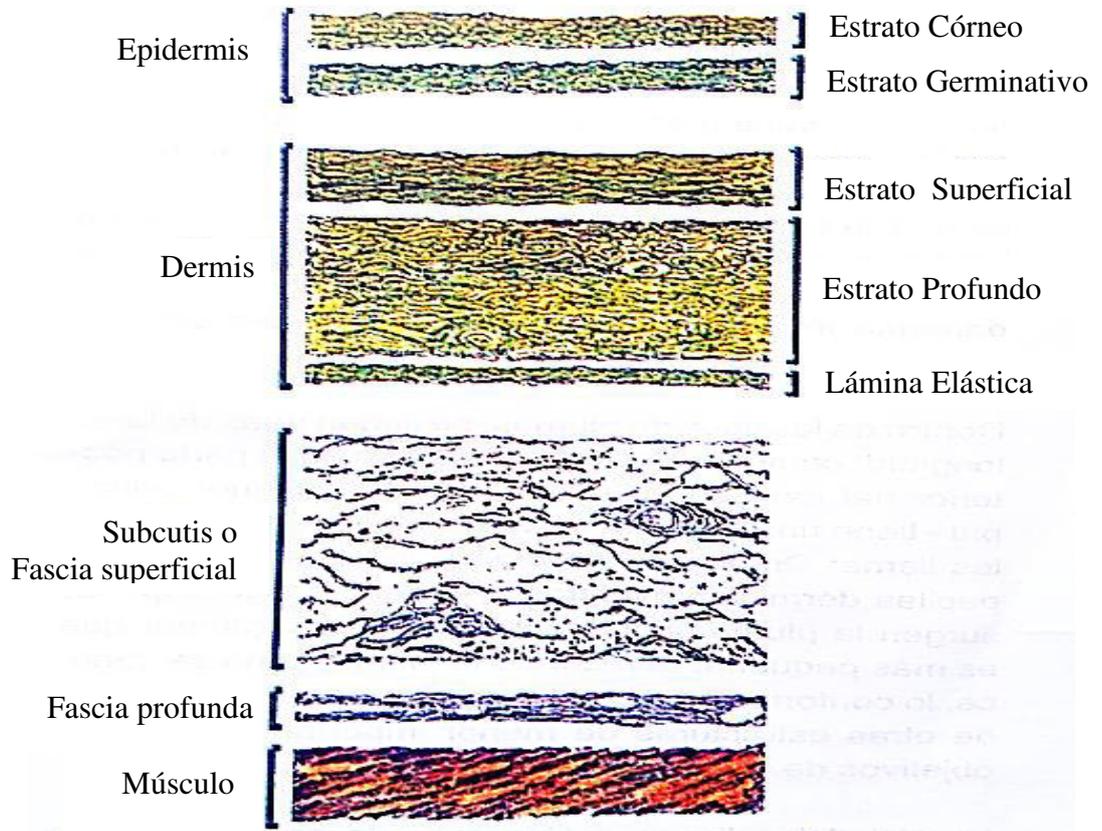
Cervantes & Sánchez, (2009) sostiene que “la piel de las aves está conformada básicamente por varias capas estructurales, ver figura 7, de las cuales en términos de procesamiento siempre se mencionan las dos primeras capas por sus efectos en la calidad y el rendimiento del pollo beneficiado”. Definen que la capa externa se llama epidermis y es relativamente delgada en todo el cuerpo de las aves y está constituida por tres capas que son:

- El estrato corneo o cutícula, que es la capa exterior y cubre la superficie expuesta de la piel. Se caracteriza por una composición cerosa. Como además acumula los pigmentos, tipo carotenoides, que se proveen en el alimento, esta capa da el color característico a la piel del ave.
- El estrato germinativo, que es una capa formada por células activas que producen el estrato córneo.
- La membrana basal, que se une con la dermis.

La dermis es una capa gruesa de la epidermis y está constituida por tres capas:

- El estrato superficial que es una capa subepidérmica. Su grosor depende del número de senos capilares que estén presentes.
- El estrato profundo, que es la capa profunda de la dermis.
- La lámina elástica, es una capa de fibras elásticas que es el límite con la capa siguiente:

La última capa de la piel se denomina fascia profunda que es una densa lámina de tejido conectivo que cubre tejidos subyacentes, generalmente músculos, pero también huesos y ligamentos.



**Figura 7. Dibujo Esquemático de la piel de pollo.**

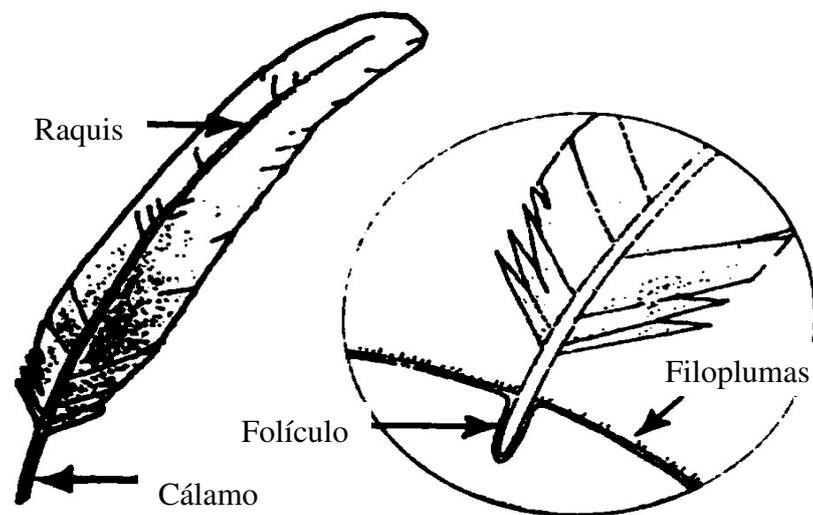
**Fuente: Cervantes & Sánchez (2009)**

### **2.3.5 Característica de la pluma**

Cervantes & Sánchez (2009) dicen “las plumas son elementos muy importantes de las aves para protegerlas de la acción del medio ambiente. Las aves tienen tres tipos de plumas, cuando son clasificadas por su longitud, las cuales se denominan: plumas de contorno, semiplumas y plumas bajas. Adicionalmente estas unos vellos muy finos llamados filoplumas que se aprecian claramente cuando las aves han sido desplumadoras completamente”, ver figura 8.

Asimismo Cervantes & Sánchez (2009) señalan que “la piel de los pollos no tiene glándulas sudoríparas, razón por la cual las aves no sudan. Por el contrario, solo disponen de una glándula llamada uropígea que produce cera y es esparcida sobre las plumas usando el ave su pico, es una rutinaria actividad de extraer la cera y distribuirla. Este recubrimiento les da impermeabilidad a las plumas al agua. La facilidad de acceso hace que las plumas de la cola estén profundamente impregnadas con las secreciones de esta glándula oleosa”.

También estos autores Cervantes y Sánchez (2009) indican “que las plumas tienen unos músculos lisos que están unidos a la parte externa de los folículos por medio de tendones elásticos. Se exceptúan de este tipo de conexión las filoplumas”. Asimismo, mencionan que los músculos lisos están presentes en la capa de la dermis de la piel. Un grupo de ellos están destinados a las plumas y el otro a las áreas vacías o apterium.



**Figura 8. Dibujo esquemático de la pluma del pollo.**

**Fuent: Cervantes & Sánchez (2009)**

### **2.3.6 Descripción de la tecnología usada en el proceso de escaldado**

Son dos las tecnologías usadas para el escaldado: la primera y más difundida por inmersión en agua caliente, y la segunda por aire caliente húmedo, la más reciente y de aplicación aun restringida en la industria avícola (Nunez, 2008).

El primer factor que influye en los resultados de un producto es la tecnología del tanque de escaldado. Aunque externamente no difieran mucho unos de los otros, pero en su interior tiene diferencias muy marcadas en cuanto al sistema de calentamiento y de agitación del agua (Nunez, 2008).

A continuación, presentamos aspectos relevantes a esta tecnología.

#### **2.3.6.1 Escaldado en agua**

Proceso que consiste en hacer pasar las carcasas luego del desangrado y lavado de cloaca en un tanque de acero inoxidable por un determinado tiempo. Los parámetros de trabajo se establecerán en base a los requerimientos del producto a procesar como es el color de la piel - blanco o amarillo; el peso del ave y a la calidad de pechuga que se requiere (Nunez, 2008).

Tradicionalmente, el calentado del agua se hace por vapor directo inyectado en el agua a través una cañería parecida a una espina de pescado instalada longitudinalmente en el fondo del tanque. El caudal de vapor, y por consecuencia la temperatura del agua, se controla manualmente o por medio de válvulas automáticas, alternativa más precisa, luego más confiable (Nunes, 2012).

Otro sistema algo común en mataderos en Latinoamérica es el calentador a gas en el cual una llama calienta un tubo con cerca de 30 cm de diámetro instalado longitudinalmente e internamente en el centro del tanque, transfiere el calor al agua. El control de la temperatura se hace por ajuste en el caudal de agua, una vez que no es posible regular la temperatura de la llama (Nunez, 2008).

Cervantes & Sánchez (2009) dicen “que debido a la eficiencia y bajo costo del uso de escaldadores con agua, estos son usados en la mayoría de plantas de procesamiento en el mundo”. Por otro lado, el empleo de escaldadoras con vapor se ha explorado en zonas donde el agua es limitada o donde existen regulaciones exigentes sobre su utilización y tratamiento en procesos comerciales.

MAGRAMA, (2006) informan que “existen limitaciones técnicas para aplicar esta técnica. Las plumas de las aves proporcionan aislamiento frente al vapor, por lo que éste no penetra lo suficiente como para garantizar un desplumado óptimo. Por otra parte, el vapor está a más temperatura que el agua, pudiendo causar daños en la epidermis, y generando residuos orgánicos por este motivo (canales desechadas por su aspecto)”.

Debido a esto, en adelante, nos enfocaremos en el escaldado en caliente, ya que es el proceso que actualmente es el más usado en plantas comerciales como son las de San Fernando, Redondos y Avinka, a nivel nacional.

### **2.3.6.2 Sistema de Control de la Temperatura**

Mead (2004) indica que “la temperatura del agua de escaldador se verifica y controla electrónicamente, es decir se regula de forma automática, con ayuda de válvulas con sensores que regulan y permiten la entrada de vapor de agua al sistema y que a pesar de lo mencionado existe limitaciones operativas que impiden la homogeneidad de temperatura del agua en el interior del tanque, como es subir o bajar rápidamente la temperatura cuando esto se hace necesario”.

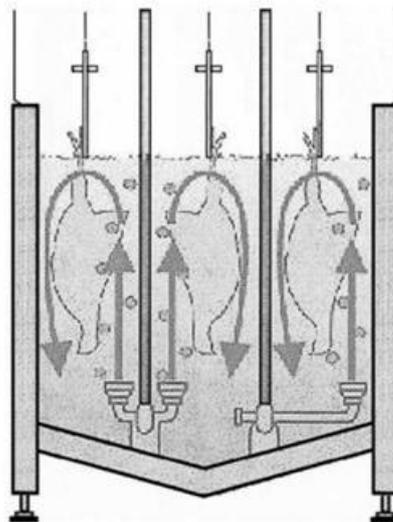
Otro beneficio a nivel microbiológico es que con un buen control de temperatura y un buen mantenimiento del sistema se mantiene bajo control la carga de bacterias que habitan en el tanque de escaldado (Barbut, 2002).

### 2.3.6.3 Tipo de agitación del agua de escaldado

. Nunez (2008) señala que “la agitación del agua del tanque de escaldado se puede dar por medio mecánico o por chorros de aire cuya finalidad es de romper la capa de plumas para facilitar el contacto del agua caliente con la piel y, así, proporcionar la absorción de calor por la piel”.

Cervantes & Sánchez (2009) afirman que “la agitación adecuada del agua permitirá que esta penetre la telaraña de plumas y llegue hasta los folículos de la piel para abrirlos y, causar la desnaturalización de la proteína del músculo”.

Los escaldadores modernos, para generar mayor turbulencia, se induce el ingreso de aire al agua del escaldador a través de boquillas montadas en la parte de abajo de la cisterna o tanque, ver figura 9. Sin embargo, hay muchos más antiguos escaldadores donde todavía están en funcionamiento la inducción mecánica por la turbulencia de impulsores eléctricos o accionados hidráulicamente (Mead, 2004).



**Figura 9.** *Sección transversal de un tanque escaldado con toberas de aire.*

***Fuente: Mead (2004)***

#### **2.3.6.4 Agitación por medio Mecánico**

Nunez (2008) indica que esta tecnología es obsoleta pero aún en uso en algunas plantas avícolas en Latinoamérica, dicha agitación se logra con el uso de una batería de agitadores es decir con bombas verticales perfilados, longitudinal y verticalmente, en el centro del tanque.

Nunez (2008) explica que el agua es aspirada verticalmente desde la extremidad inferior del tubo, y al salir por la extremidad superior, que está al nivel del agua del tanque, se choca contra una “capucha” que revierte su flujo hacia abajo y al costado, dándole la forma de una cascada que se distribuye a lo largo de todo el tanque.

Esta cascada, explica Nunez (2008), al penetrar al agua del tanque de arriba hacia abajo, eriza las plumas de las carcacas que están pasando y, de esta manera, facilita el contacto del agua caliente con la piel.

En este sistema de agitación, la construcción y mantenimiento son caros por la cantidad de componentes mecánicos que usa, tiene una capacidad limitada de agitar las plumas de las alas, cuello y cabeza, limitación aún más significativa, todavía, en el caso de pollos grandes, pues parte de la fuerza de la cascada se pierde en el momento que entra al agua (Nunez, 2008).

#### **2.3.6.5 Agitación por medio de Chorros de aire**

Nunez (2008) informa que este sistema fue desarrollado en los años 80, así también lo podemos conocer como sistema “jet air”, este presenta algunas ventajas importantes con respecto al sistema anterior: su construcción es simple y su mantenimiento más barato.

Su capacidad del jet air de agitar las plumas es muy superior al sistema mecánico, esto optimiza la transferencia de calor hacia los folículos. Gracias a esto, permite un

escaldado más efectivo y más blando y un desplumado más suave, ventajas que se traducen en carcasas más bien presentadas y de mejor calidad (Nunez, 2008).

Por sus ventajas operativas, copias del sistema de agitación por chorros de aire fueron rápidamente incorporadas a los tanques de escaldado suministrado por proveedores de equipos de diferentes países. Como estas copias no tienen la misma efectividad del sistema original, la calidad del proceso de escaldado se ve comprometida en un gran número de plantas de beneficio (Nunez, 2008).

Los fabricantes del escaldador Linco tienen un equipo modelo Jet air donde el aire de las tuberías es generado a través de sopladores, estas tuberías van desde el fondo del tanque, creando la turbulencia en el agua. Las tuberías son suministradas con aire de un número de sopladores, que están montadas en la parte superior.

#### **2.3.6.6 Dirección del agua**

Desde 1 g de material de suelo (por ejemplo, la suciedad, el material fecal) unido a las plumas puede contener  $10^8$ - $10^9$  microorganismos, por ello que el baño a contracorriente es importante para reducir al mínimo la contaminación cruzada en un baño común (FAO, s.f).

Durante el proceso de escaldado se aplica un intenso lavado de las carcasas; y, como consecuencia, deja una gran acumulación de suciedad y microorganismos en el agua durante las horas de trabajo de una planta, principalmente, por medio del sistema de agitación usado. Por ello los continuos cambios de la tecnología del proceso de escaldado en agua buscaron darles más operatividad y mayor efectividad a los tanques y a mejorar la calidad microbiológica del proceso (Nunes, 2012).

El pollo al estar sumergido en esta agua, se halla en contacto con un medio ideal de cultivo para el crecimiento y propagación de gran cantidad de agentes patógenos, o también llamado en muchos países “sopa de excremento”, ver figura 10.

Así mismo al existir gran cantidad de materia orgánica y con una temperatura elevada la acción del cloro es inútil, por tanto, se desarrollaron tanques de escaldado de múltiples etapas.



**Figura 10. Tanque de escaldado con agua sucia**

***Fuente: Nunes (2012)***

Estos sistemas múltiples comprenden de 2 o hasta 3 tanques físicamente independientes, donde las carcasas y el agua se mueven en contra-flujo ayudando que la suciedad se remueva gradualmente de la superficie de las carcasas; es decir, a medida que las aves son sumergidas en agua saldrán más limpias mientras avanzan hacia la salida (Stal, 2006).

Este sistema es muy efectivo en reducir el conteo de microorganismo en la piel de las carcasas, un beneficio que contribuye en la mayor seguridad del producto final, como fue demostrado por el Proyecto Eurovol, que informa de la reducción significativa de microorganismos a través de los tanque de multietapas, donde se recuce aproximadamente el 70% de la bacterias adheridas a las plumas y a la piel, las cuales son eliminadas por el lavado. La situación es diferente si se usara un escaldado de un solo tanque y a contracorriente, pues se necesitaría mayor renovación de agua, algo más de 10 litros/ave (Stal, 2006)

Mead (2004) indica que “los desarrollos recientes se han concentrado en la reducción de los gastos de funcionamiento, por lo que los tanques de escaldado son más fáciles de limpiar, y lo más importante, muchos procesadores han instalado sistemas multitanques de escaldado con el propósito de que las aves, que hacen su recorrido dentro del sistema, avancen cada vez con menor cantidad orgánica, a fin de lograr la reducción de la contaminación microbiana de las canales”.

A pesar de los avances y mejoras, le falta al proceso de escaldado consistencia y seguridad, mucho más si la empresa no se ajusta a las buenas practicas que exige la autoridad sanitaria.

#### **2.3.6.7 Reposición de agua**

Cervantes & Sánchez (2009) indican que “además la dinámica de esta operación hace que mientras salen aves del tanque, se mantiene un flujo constante de aves que ingresan y un reflujo o adición de agua fresca que recircula a los tanques, de tal manera que las condiciones están cambiando constantemente”.

Las aves al pasar por el tanque de escaldado arrastran agua en sus plumas, Nunez (2008) menciona que para mantener constante el volumen de agua en el tanque se da el ingreso continuo de agua fresca durante la operación de escaldado, con el fin de renovar el agua del tanque, a través de un rebose controlado, para así reducir la concentración de contaminantes que se acumulan durante la operación y, por tanto, mejorar la calidad microbiológica del medio.

En Brasil el uso de agua fresca es determinado por el Reglamento Sanitario del Ministerio de Agricultura que exige una reposición de 0.5 litros/carcasa y es controlado por los inspectores sanitarios de las plantas a través del uso de un caudalímetro.

Es elevado el consumo de agua en el proceso de escaldado convencional, el costo de captación, tratamiento del desecho y las crecientes presiones ambientales y/o socioeconómicas estimularon a las empresas, proveedoras de tecnología de procesamiento, a buscar alternativas al escaldado por inmersión en agua. De allí vino el sistema de escaldado en seco.

#### **2.3.6.8 Escaldado en Vapor**

Nunez (2008) indica en líneas generales, que este sistema consiste en “un ambiente cerrado tipo túnel por donde circulan los pollos desangrados durante un cierto período de tiempo. En su interior, sopladores inyectan aire caliente humedecido con tan solo 50 ml de agua por pollo, mientras un sistema de ventilación hace circular el aire caliente entre las aves, erizando las plumas y transfiriendo calor a los folículos.

Nunez (2008) informa que “las ventajas de esta tecnología se dan en el uso eficiente del consumo de agua, consumo de energía, se anula la contaminación cruzada debido a que ya no hay mezcla de materia orgánica en la superficie del cuerpo del ave, así mismo la temperatura del ambiente se mantiene tal y cual a la naturaleza. Otra gran ventaja es su apagado completo y automático en caso de corte de energía o de un problema mecánico en la cadena, evitando las pérdidas económicas y de calidad por sobre escaldado”.

A pesar de los beneficios que mencionamos Kindersley (2008), explica que aún no es muy usada esta tecnología por su alto costo de adquisición.

### **2.4 Experimento Factorial**

Montgomery (2004) establece que “la importancia del diseño de experimentos recae en la necesidad que tienen las empresas de contar con procesos óptimos con la menor variabilidad para incrementar la calidad en sus productos o servicios”.

Jiménez (2012) afirma que “el objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas o características de calidad y determinar una combinación de niveles de los factores en la cual el desempeño del proceso sea mejor que en las condiciones de operación actuales; es decir, encontrar nuevas condiciones de operación del proceso que eliminen o disminuyan ciertos problemas de calidad en la variable de salida”.

Siqueiros (2004) indica que “en muchas ocasiones el experimento contempla dos o más factores y los diseños conocidos como diseños factoriales son generalmente los más adecuados para estos casos. El experimento factorial, en su concepto, está restringido a un tipo especial de diseño de tratamientos que abarca todos los tratamientos posibles que resultan de combinar cada uno de los diferentes niveles de cada factor a estudiar, lo que quiere decir, que cada tratamiento es una combinación de un nivel de cada uno de los factores involucrados en la investigación”.

Siqueiros (2004) menciona que entre las ventajas de utilizar experimentos factoriales, se pueden mencionar:

- Los diseños pueden aumentarse para formar diseños compuestos en el caso de que se requiera una exploración más completa.
- Cuando el número de combinaciones de tratamientos es muy grande, se pueden utilizar fracciones del diseño factorial, que son muy útiles en las primeras etapas de una investigación.
- Estos diseños pueden combinarse con diseños por bloques, cuando hay restricciones en la aleatorización.
- El cálculo de los efectos en un diseño factorial es muy sencillo

Siqueiros (2004) menciona que el utilizar estos diseños tiene también sus desventajas, entre las cuales están:

- A medida que se incrementa el número de factores o de niveles, el diseño factorial se hace impráctico, debido a las limitaciones de material experimental o de recursos
- Cuando aumenta el número de factores, se dificulta la interpretación de interacciones de orden superior. A pesar de estas desventajas, el procedimiento factorial es de innegable importancia, y puede ser aplicado a muy variadas situaciones.

#### **2.4.1 Diseño factorial con dos factores**

Siqueiros (2004) plantea que “estos diseños se utilizan en experimentos en los que intervienen 2 factores y cada uno de ellos tiene  $k$  niveles, los cuales pueden ser cuantitativos (temperatura, presión, tiempo, etc.) o cualitativos (máquinas, operadores, proveedores, etcétera). Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen  $2^k$  observaciones y se conoce como diseño factorial  $2^k$ . Este diseño es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando hay muchos factores por investigar”.

Siqueiros (2004) establece que “debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores. Si existen dos factores A y B con  $a$  niveles para A y  $b$  niveles para B, entonces cada corrida contiene  $ab$  combinaciones de los tratamientos. Cuando los factores A y B, están cada uno a dos niveles  $A< - >$ ,  $A< + >$ ,  $B< - >$ ,  $B< + >$ , el factorial se indicaría como un  $2^2$  y constaría de cuatro posibles combinaciones de tratamientos, representadas como:

$A< - >$ ,  $B< - >$  ó 1

$A< - >$ ,  $B< + >$  ó  $b$

$A< + >$ ,  $B< - >$  ó  $a$

$A< + >$ ,  $B< + >$  ó  $ab$

El análisis factorial implica analizar los efectos de los factores a fin de constatar si el efecto de un factor es independiente del otro factor o si por el contrario existe interacción”.

Para comprender mejor esto, se debe aclarar cómo medir el efecto en los experimentos factoriales. Esto es, conocer lo siguiente:

- **Efecto Principal.** Es igual a la respuesta promedio observada en el nivel alto de un factor, menos la respuesta promedio en el nivel bajo de éste.
- **Efecto de Interacción.** Cuando el efecto de un factor depende del nivel en el que está otro de los factores, se dice que estos factores interactúan significativamente.

Siqueiros (2004) indica que “en el análisis de los resultados de un diseño factorial  $2^2$ , es necesario estimar los efectos principales y las interacciones. De no detectarse interacción, los efectos principales serán entonces las mejores estimaciones de los efectos y sobre los cuales se basarían las interpretaciones de la investigación”.

Siqueiros (2004) En caso contrario es necesario examinar e interpretar la naturaleza de la interacción. Cuando una interacción es grande, los efectos principales correspondientes tienen muy poco significado práctico.

Siqueiros (2004) concluye que “muchas veces se utiliza el método de analizar los factores uno a la vez, cuando lo más apropiado es hacerlo simultáneamente, ya que si estudiamos los factores por separado nos dará un resultado que puede no corresponder a situaciones reales del experimento, con lo cual se podría generar confusión y tal vez gastos innecesarios”.

### - Modelo estadístico

Siqueiros (2004) afirma que con un diseño factorial se pueden estudiar los dos efectos individuales y el efecto de interacción de ambos factores. En términos estadísticos, lo que se afirma es que el comportamiento de la respuesta  $Y$  en el experimento con  $k$  réplicas se podría describir mediante el modelo de efectos

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, a ; j = 1, 2, \dots, b ; k = 1, 2, \dots, n$$

Donde  $\mu$  es el promedio general,  $\alpha_i$  es el efecto debido al  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $\beta_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B,  $(\alpha\beta)_{ij}$  representa al efecto de interacción en la combinación  $ij$ ,  $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio que supone sigue una distribución con promedio cero y varianza constante  $\sigma^2 [N(0, \sigma^2)]$  y son independientes entre sí. Para que la estimación de los parámetros en este modelo sea única, se introducen las restricciones:

$$\sum_{i=1}^a \alpha_i = 0, \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

Es decir, los efectos dados en el modelo son desviaciones respecto al promedio global. Puede usarse el análisis de varianza para probar hipótesis relativas a los efectos principales de los factores A y B y la interacción AB. En este modelo, las hipótesis de interés para los tres efectos son:

$$H_o : A = 0$$

$$H_A : A \neq 0$$

$$H_o : B = 0$$

$$H_A : B \neq 0$$

$$H_o : AB = 0$$

$$H_A : AB \neq 0$$

Estas hipótesis se prueban mediante la técnica de análisis de varianza que para un diseño factorial con réplicas resulta de descomponer la variación total como:

$$SC_T = SC_A + SC_B + SC_{AB} + SC_E$$

Donde los respectivos grados de libertad de cada una de ellas son:

$$nab - 1 = (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1) + ab(n - 1)$$

Siqueiros (2004) establece que, en los grados de libertad de la suma de cuadrados del error  $SC_E$ , se necesitan al menos dos réplicas del experimento para calcular ese componente. Recordemos que las sumas de cuadrados divididas entre sus correspondientes grados de libertad se llaman cuadrados promedios  $CM$ . Al dividir éstos entre el cuadrado promedio del error  $CM_E$  se obtienen estadísticos de prueba con distribución  $F$ . Toda esta información se sintetiza en la tabla 4.

**Tabla 4. ANOVA para el diseño factorial  $a \times b$**

FV	SC	GL	CM	$F_0$	Valor $p$
Efecto A	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0^B)$
Efecto AB	$SC_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	$SC_E$	$ab(n - 1)$	$CM_E$		
Total	$SC_T$	$abn - 1$			

En Siqueiros (2004) se dice que si el valor  $p$  es menor al nivel de significancia  $\alpha$  prefijado, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el correspondiente efecto está activo o influye en la variable de respuesta.

Descripción de la notación de puntos para representar sumas y promedios:

$Y$  = Es la suma de todas las observaciones

$\bar{Y}$  = Es el promedio global

$Y_i$  = Es el total en el nivel  $i$  del factor A

$\bar{Y}_{i..}$  = Es el promedio del nivel  $i$  del factor A

$Y_j$  = Es el total en el nivel  $j$  del factor B

$\bar{Y}_j$  = Es el promedio del nivel  $j$  del factor B

Asimismo

$$Y = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{Y}{abn} \quad (2)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (3)$$

$$\bar{Y}_i = \frac{Y_i}{bn} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad (4)$$

$$Y_j = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (5)$$

$$\bar{Y}_j = \frac{Y_j}{an} \quad j = 1, 2, \dots, b \quad (6)$$

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (7)$$

$$\bar{Y}_{ij} = \frac{Y_{ij}}{n} \quad (8)$$

Con esta notación la suma de cuadrados total es:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{N} \quad (9)$$

Donde  $N = abn$  es el total de las observaciones en el experimento. La suma de cuadrados de efectos es:

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bn} - \frac{Y^2}{N} \quad (10)$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{an} - \frac{Y^2}{N} \quad (11)$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B \quad (12)$$

Y al final, al restar estas del total, se obtiene la suma de cuadrados del error como:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} \quad (13)$$

#### 2.4.2 Diseños factoriales con tres factores

Jiménez (2012) explica que cuando se quiere investigar la influencia de tres factores ( $A$ ,  $B$  y  $C$ ) sobre una o más variables de respuesta, y el número de niveles de prueba en cada uno de los factores es  $a$ ,  $b$  y  $c$ , respectivamente, se puede construir el arreglo factorial, que consiste de tratamientos o puntos experimentales. Entre los arreglos de este tipo que se utilizan con frecuencia en aplicaciones diversas se encuentran el factorial y los factoriales mixtos con no más de cuatro niveles en dos de los factores; por ejemplo, el factorial  $4 \times 3 \times 2$  y el factorial  $4 \times 4 \times 2$ , por mencionar dos de ellos.

Jiménez (2012) plantea que los valores absolutos (sin importar el signo) de los efectos principales y del efecto de interacción son una medida de importancia de su efecto sobre la variable de respuesta. Sin embargo, como se tienen estimaciones muestrales, para saber si los efectos son estadísticamente significativos (diferentes de cero) se requiere el análisis de varianza (ANOVA)”.  
 - **Hipótesis de interés**

Jiménez (2012) indica que “el estudio factorial de tres factores ( $A$ ,  $B$  y  $C$ ) permite investigar los efectos:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  y  $ABC$ , donde el nivel de desglose o detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizando en cada factor. Por ejemplo, si un factor se prueba en dos niveles, todo su efecto marginal (individual) es lineal, o sea que su efecto individual no se puede descomponer; pero, si tuviera tres niveles su efecto marginal se puede descomponer en una parte lineal y otra cuadrática

pura. En resumen, se tienen siete efectos de interés sin considerar desglose, y con ellos se pueden plantar las siete hipótesis nulas:

$$H_o : \text{Efecto } A = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } B = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } C = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } AB = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } AC = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } BC = 0$$

$$H_o : \text{Efecto } ABC = 0$$

Cada una aparejada con su correspondiente hipótesis alternativa. El ANOVA para probar estas hipótesis se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. ANOVA para el diseño factorial  $a \times b \times c$**

FV	SC	GL	CM	F <sub>0</sub>	Valor <i>p</i>
Efecto A	SC <sub>A</sub>	<i>a</i> - 1	CM <sub>A</sub>	CM <sub>A</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	SC <sub>B</sub>	<i>b</i> - 1	CM <sub>B</sub>	CM <sub>B</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^B)$
Efecto C	SC <sub>C</sub>	<i>c</i> - 1	CM <sub>C</sub>	CM <sub>C</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^C)$
Efecto AB	SC <sub>AB</sub>	( <i>a</i> - 1)( <i>b</i> - 1)	CM <sub>AB</sub>	CM <sub>AB</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^{AB})$
Efecto AC	SC <sub>AC</sub>	( <i>a</i> - 1)( <i>c</i> - 1)	CM <sub>AC</sub>	CM <sub>AC</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^{AC})$
Efecto BC	SC <sub>BC</sub>	( <i>b</i> - 1)( <i>c</i> - 1)	CM <sub>BC</sub>	CM <sub>BC</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^{BC})$
Efecto ABC	SC <sub>ABC</sub>	( <i>a</i> - 1)( <i>b</i> - 1)( <i>c</i> - 1)	CM <sub>ABC</sub>	CM <sub>ABC</sub> /CM <sub>E</sub>	$P(F > F_0^{ABC})$
Error	SC <sub>E</sub>	<i>abc</i> ( <i>n</i> - 1)			
Total	SC <sub>T</sub>	<i>abcn</i> - 1			

En Jiménez (2012), explica que el efecto cuyo valor *p* sea menor al valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo. Las sumas de cuadrados son muy similares a las obtenidas para dos factores; habrá que considerar un subíndice adicional para el tercer factor, y comenzando otra vez, por la suma total de cuadrados, éstas resultan ser:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{Y^2 \dots}{N} \quad (14)$$

Donde  $N = abc n$  es el total de observaciones en el experimento. Las sumas de cuadrados de efectos son:

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i\dots}^2}{bcn} - \frac{Y^2}{N} \quad (15)$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j\dots}^2}{acn} - \frac{Y^2}{N} \quad (16)$$

$$SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{\dots k\dots}^2}{abn} - \frac{Y^2}{N} \quad (17)$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij\dots}^2}{cn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B \quad (18)$$

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ik\dots}^2}{bn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_C \quad (19)$$

$$SC_{BC} = \sum_{i=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{jk\dots}^2}{an} - \frac{Y^2}{N} - SC_B - SC_C \quad (20)$$

$$SC_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ijk\dots}^2}{n} - \frac{Y^2}{N} - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} \quad (21)$$

Al restar éstas del total, la suma de cuadrados del error resulta ser

$$SCE = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC} \quad (22)$$

Cuyos respectivos grados de libertad se dan en la tabla anterior. Una vez hecho el ANOVA, se procede a interpretar los efectos activos, y luego (aunque no necesariamente después) a diagnosticar la calidad del modelo (Jiménez, 2012)

Considerando otra vez  $k = 2$  factores, pero ahora uno con tres niveles y el otro con dos niveles, se pueden construir  $3 \times 2$  combinaciones que dan lugar al diseño factorial  $3 \times 2$ .

Observe que en el nombre del diseño factorial va implícita el número de tratamientos que lo componen. Para obtener el número de corridas experimentales se multiplica el número de tratamientos por el número de réplicas, donde una réplica se lleva a cabo cada vez que se repite el arreglo completo (Jiménez, 2012).

También Jiménez (2012), establece que en general, la familia de diseños factoriales consiste de  $k$  factores, todos con dos niveles de prueba; y la familia de diseños factoriales con tres niveles consiste de  $k$  factores cada uno con tres niveles de prueba. Es claro que si los  $k$  factores no tienen la misma cantidad de niveles, entonces no se puede factorizar de esta forma como  $2^k$  o  $3^k$ , y debe escribirse el producto de manera más explícita: por ejemplo con  $k = 3$  factores, el primero con cuatro niveles y los dos restantes con dos niveles, se tiene el diseño factorial  $4 \times 2 \times 2$  o  $4 \times 2^2$ , que consiste de 16 combinaciones de niveles diferentes.

### 3. HIPÓTESIS

Para esta investigación se ha considerado las siguientes hipótesis:

#### 3.1 Hipótesis general

La correlación de parámetros de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye directamente en la calidad y la merma del pollo tipo brasa

##### 3.1.1 Hipótesis específicas

$H_0$ : La velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_1$ : La velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa

$H_0$ : La temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_2$ : La temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa

$H_0$ : Los sopladores de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_3$ : Los sopladores de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga tipo brasa.

$H_0$ : La velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye sobre la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_4$ : La velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye sobre la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : La temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye sobre la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_5$ : La temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye sobre la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : Los sopladores de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye sobre la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_6$ : Los sopladores de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : Los sopladores y la velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_7$ : Los sopladores y la velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_0$ : Los sopladores y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_8$ : Los sopladores y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_0$ : La velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_9$ : La velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_0$ : La velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_{10}$ : La velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : El soplador y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_{11}$ : El soplador y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : El soplador y la velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_{12}$ : El soplador y la velocidad de producción de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : El soplador, la velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_{13}$ : El soplador, la velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en la merma obtenida del pollo tipo brasa.

$H_0$ : El soplador, la velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio no influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

$H_{14}$ : El soplador, la velocidad de producción y la temperatura de la operación de escaldado del proceso de beneficio influye en el grado de escaldado de la pechuga pollo tipo brasa.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta todos los aspectos metodológicos usados en las diferentes fases de desarrollo de este trabajo de investigación.

### 4.1 Aspectos Generales

En la tabla 6 se muestra cuáles son los materiales, métodos y fases de desarrollo de nuestra investigación, la cual servirá como guía para lograr nuestros objetivos.

**Tabla 6. Metodología del desarrollo de la Investigación**

Materiales	Fases de desarrollo del trabajo	Métodos
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Útiles de escritorio</li> <li>➤ Termómetro</li> <li>➤ Cronómetro</li> <li>➤ Hoja de control</li> </ul>	Diagnóstico Situacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análisis de Contenido de las hojas de control</li> <li>➤ Construcción y análisis del diagrama de análisis de proceso en la zona sucia (DAP)</li> <li>➤ Análisis del manual del Equipo</li> <li>➤ Evaluación visual del funcionamiento de los sopladores</li> <li>➤ Registro de anomalías generadas en el proceso de escaldado</li> <li>➤ Entrevista al encargado del área</li> <li>➤ Pruebas referenciales</li> <li>➤ Análisis de Gráficos de Control y Diagrama de Pareto</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tanque de Escaldado</li> <li>➤ Termómetro</li> <li>➤ Cronómetro</li> <li>➤ Hoja de registro</li> </ul>	Trabajo Experimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Matriz experimental según el Diseño Factorial 3×2x2x2</li> <li>➤ Desarrollo experimental según la matriz diseñada</li> <li>➤ Monitoreo de la temperatura, Velocidad de producción y del funcionamiento de sopladores en el tablero eléctrico</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pollos escaldados,</li> <li>➤ Calculadora</li> <li>➤ Cámara fotográfica</li> <li>➤ Cuchillo</li> <li>➤ Estante de acero</li> <li>➤ Hoja de control</li> </ul>	Respuesta de merma y calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluación física (Cuantitativo y Cualitativo)</li> <li>➤ Valorización del grado de escaldado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Software de Microsoft Excel</li> <li>➤ Software de Minitab</li> </ul>	Análisis de la Correlación de variables"	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ANOVA</li> <li>➤ <i>F</i> de Fisher y valor <i>p</i></li> <li>➤ Análisis de correlación</li> </ul>

#### **4.1.1 Tipo de investigación**

Mixta (cuantitativa y cualitativa) de nivel de estudio correlacional porque tiene como propósito medir el grado de relación que exista entre las variables de la investigación.

#### **4.1.2 Población**

Está conformada por los pollos tipo brasa criados en granja para luego ser procesados en la planta de beneficio, aun así, es difícil de estimar la población dado que sus elementos, los pollos broiler, se producen y procesan continuamente y provienen de diferentes granjas.

#### **4.1.3 Muestra**

Probabilística criterial, se considera como parte de la población a los pollos tipo brasa donde se cogieron 10 pollos para cada tratamiento. En esta investigación se usaron en total 480 pollos de los cuales 240 son para la evaluación de la merma y la diferencia para la evaluación de la calidad cuyo peso oscila entre 1550 a 1650 g.

#### **4.1.4 Muestreo**

Aleatorizado, los pollos fueron seleccionados de un total de 24 vehículos que llegaban a planta, estas aves que llegaban se sometieron al proceso de beneficio donde se recogieron 10 pollos para la evaluación de peso perdido, y 10 pollos para el grado de calidad posterior a la etapa proceso de escaldado.

#### **4.1.5 Materia prima**

Pollo tipo brasa de la Línea Cobb 500, entre ellos pollos hembras y machos provenientes de las granjas del norte de San Fernando.

#### **4.1.6 Lugar**

El trabajo de investigación se realizó en la planta industrial de la empresa San Fernando S. A., dedicada al rubro avícola ubicada en el departamento de Lima en la provincia de Huaral, la planta de beneficio constituye de dos zonas de trabajo, la zona

sucia y la zona limpia. Las pruebas experimentales se desarrollaron desde la operación de escaldado hasta el desplume en las instalaciones del área de Pelado de la zona sucia,

#### **4.1.7 Tiempo**

El trabajo duró 6 meses, de los cuales 2 meses fueron para el desarrollo del diseño experimental y ejecución de las pruebas experimentales.

### **4.2 Diagnóstico Situacional**

Para el desarrollo de la investigación se inicia con un diagnóstico de las características operacionales del área de escaldado y desplumado de la empresa San Fernando, a fin de conocer las limitaciones del proceso experimental a seguir en este trabajo.

#### **4.2.1 Materiales**

- Computadora
- Hoja
- Lapicero
- Tablero
- Mesa
- Termómetro
- Cronómetro

#### **4.2.2 Métodos**

- Análisis de Contenido: Se recurre a la base de datos para trabajar en las oportunidades de mejora en los procesos usando las gráficas de control *X-R* de temperatura, rendimiento vs la velocidad de producción de la línea de beneficio del proceso de escaldado de pollos, y mediante el diagrama de Pareto para conocer las anomalías en las operaciones de la planta.
- Construcción de un Diagrama de Análisis de Procesos (DAP) en la zona de Matanza “Zona sucia”.

- Análisis del manual del Equipo: Interpretación de la capacidad del Equipo de tanque de Escaldado y diagnóstico del funcionamiento de los sopladores, y la tecnología del proceso de escaldado.
- Observación: Monitoreo de las diferentes anomalías generadas en planta
- Entrevista al encargado del área: Comunicación abierta con el encargado del área de trabajo
- Pruebas referenciales: Se requiere recolectar datos, para ello se efectúa experimentos donde se varían los parámetros de operación y se observa el efecto en el pollo durante el proceso de escaldado.

### **4.3 Trabajo experimental**

En esta parte se describe el procedimiento de las pruebas experimentales, los diferentes materiales y los métodos usados para la obtención de los resultados siguiendo un procedimiento estadístico.

#### **4.3.1 Diseño experimental**

El diseño de tipo experimental se realizó usando un diseño experimental factorial mixto de  $3^2$  y  $2^2$  o también llamado diseño multifactorial el cual se escribe de la siguiente forma  $3 \times 2 \times 2 \times 2$  (tres sopladores, dos velocidades de producción que hacen referencia al tiempo de residencia, dos temperaturas por dos repeticiones) este diseño permitió determinar la correlación de los parámetros en la calidad y la merma. Para obtener los datos se realizan 24 tratamientos que corresponden a un análisis estadístico multifactorial.

Este diseño requiere para la comprobación de la hipótesis, una selección aleatoria y se compone de dos grupos:

- Grupo control: Pollos Beneficiados Tipo Brasa *sui generis*.

- Grupo de experimentación: Pollos Tipo Brasa cuyo producto varía en el proceso de escaldado con las condiciones establecidas para los diferentes niveles de sopladores, temperatura y velocidad de producción

**A) Variables Independientes:** Parámetros del Proceso de escaldado

- Velocidad de procesamiento de pollos
- Temperatura del agua del escaldador
- Número de sopladores Encendidos

**B) Variables Dependientes**

- Calidad de la pechuga en el proceso de escaldado
- Merma del pollo en el proceso de escaldado

**C) Indicadores de las Variables**

Las dimensiones de los indicadores de las variables independientes y dependientes se muestran en la tabla 7 y 8 respectivamente.

**Tabla 7. Indicadores de la Variable Independiente:**

Parámetros del proceso de escaldado

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
Velocidad de procesamiento de pollos	Velocidad de producción de pollos
Temperatura del agua del escaldador	Temperatura
Número de sopladores encendidos	Número de sopladores encendidos

**Tabla 8. Indicadores de la Variable Dependiente**

<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>
Merma del pollo en el proceso de escaldado	%
Calidad de la pechuga en el proceso de escaldado	Valores del 1 al 4

En la tabla 9 se presenta el grado de escaldado de la pechuga que hace referencia al nivel de cocción, este nivel de cocción se expresa en la calidad resultante de la pechuga procesada, el 1 significa un pechuga excelente porque el color es original relacionada al color *sui generis* de la pechuga de pollo beneficiado, el 2 significa que una ligera decoloración de la proteína a un color blanco, el 3 significa que es la mitad de la proporción de la pechuga y responde a una mayor coloración blanca y el valor 4 corresponde a casi toda la decoloración de la pechuga a un color blanco.

El criterio de evaluación se da en base a la experiencia obtenida en el proceso y a su vez guiada por la investigación de (Muñoz, Díaz, & Cabrera, 2011) y (Beavers, 2013).

**Tabla 9. Valorizaciones de la calidad de la pechuga de pollo Brasa**

VALORES	DESCRIPCIÓN LITERAL	IMAGEN
1	Excelente: No se observa colores blancos en la pechuga	
2	Bueno: Color blanco ligeramente visible	
3	Regular: Color blanco visible en ciertas partes de la pechuga	
4	Malo: Se observa de color blanco toda la pechuga	

#### D) Operacionalización de las Variables

En la tabla 10 se organizan para las variables independientes, los instrumentos y los controles que se van a desarrollar para cada indicador.

**Tabla 10. Operacionalización de las variables independientes**

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Herramienta de Medición</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Velocidad de procesamiento de pollos	Velocidad de Producción	Conteo	<u>Pollos</u> hora
Temperatura del agua del escaldador	Temperatura	Termómetro	Centígrados (°C)
Número de Sopladores encendidos	Número de Sopladores	Observación	Unidad

En la tabla 11 se organizan, para las variables dependientes, los instrumentos de medición y los controles que se van a desarrollar para cada indicador.

**Tabla 11. Operacionalización de las variables dependientes**

<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Herramienta de Medición</b>	<b>Unidad de medida</b>
Merma del pollo en el proceso de escaldado	Porcentaje	Balanza	%
Calidad de la pechuga en el proceso de escaldado	Valores del 1 al 4	Escala 1-4	1, 2, 3, 4

#### E) Tratamientos Estudiados

Los tratamientos, son las combinaciones de los niveles de los factores y se presentan en la tabla 12.

**Tabla 12. Niveles de los Factores de los tratamientos Estudiados**

<b>N°</b>	<b>Número de Sopladores encendidos (Unidad)</b>	<b>Velocidad de Procesamiento (pollos/hora)</b>	<b>Temperatura del agua del escaldador (°C)</b>
1	1	8500	57
2	2	9500	59
3	3	-	-

### 4.3.2 Materiales

- Balanza

Se utilizó una balanza cuya marca es Precix Weight cuya capacidad máxima y mínima es de 6 kg y 2 g respectivamente, de división de 2 g.

- Cronómetro digital

Se hace uso de un cronómetro digital de marca Casio cuya capacidad de lectura es de milisegundos.

- Controlador de Temperatura

Se utilizó un equipo de la marca Linco, el cual posee un sensor del tipo RTD de platino (PT100); que, al ser de tamaño compacto, se ajusta perfectamente a las necesidades del proceso, además que tiene la precisión para medir temperaturas entre 0 a 200°C.

- Termómetro digital

Se dispone de un termopar como termómetro digital de la marca Multi Thermometer modelo 421502 de capacidad de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ .

- Escala de 1 al 4

Semejante a la tabla 9, cuya conformidad la entrega el encargado y el maquinista del área de Pelado.

- Escaldador con chorro de aire

Es un tanque de acero inoxidable color gris de la Marca Linco de cuatro pasos, con un volumen de  $8.7\text{ m}^3$ , capacidad de 6321 pollos/hora, trabaja con un sistema de turbulencia tipo chorro de aire, cuenta con 8 tuberías para la inyección de aire en la base del tanque de escaldado, dos planchas de acero inoxidable la cual internamente posee radiadores para la transferencia de calor del vapor. Este equipo utilizado para el proceso de escaldado se muestra en la figura 11.

- Compresores de Canal Lateral

Sopladores de aire cuya capacidad hace referencia a una capacidad de caudal de 420 m<sup>3</sup>/hora de la marca RIETSCHLE modelo SKG314 -2 de 4Kw y 50 Hz. Se ubican en la parte superior de los escaldadores como se muestra en la figura 11.



**Figura 11. Tanque de Escaldado.**

*Fuente: San Fernando*

- Controlador de Temperatura (PID)

Marca Linco modelo TC 220, donde se indica que tiene una precisión  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y dispone de dos sensores de temperatura de resistencia (RTD), ver figura 12, ubicados en la parte inferior del tanque de escaldado y junto a este sistema existe una válvula de asiento, que según la señal transmitida de la temperatura se abrirá o cerrará dicha válvula para permitir el paso de vapor y, de este modo, controlar la temperatura del agua del escaldador.



**Figura 12. Sensor de temperatura**

*Fuente: San Fernando*

#### **4.3.1 Procedimiento Experimental**

Las aves siguieron el proceso normal de beneficio, donde al final del desangrado para la prueba de merma son descolgados para ser identificados al nivel de la pata mediante unos tickets sujetos con pabilo. Luego 10 pollos son pesados antes del ingreso al proceso de escaldado y luego a la salida de la peladora, esto para la prueba de rendimiento y para la prueba de calidad otros 10 pollos se descuelgan los pollos a la salida de la peladora, seguido con ayuda de un cuchillo se retira la piel que cubre a la pechuga y se registra la información en los formatos, además se toman fotos.

A continuación, se describe con fotografías el proceso que se lleva a cabo para la determinación de la merma y la calidad de la pechuga del proceso de escaldado de cada tratamiento, ver la figura 13.

PROCESO DEL MANEJO PARA DETERMINAR LA MERMA Y LA CALIDAD EN EL PROCESO DE ESCALDADO							
Proceso		Imagen	Método	Proceso		Imagen	Método
a)	Recepción		Inspección del cumplimiento del programa de pollo tipo Brasa II	b)	Colgado de Aves		Verificación de colgado
c)	Aturdido		Verificación de los parámetros establecidos en el tablero eléctrico	d)	Deguello		Inspección de la operatividad de la máquina
e)	Sangrado		Verificar que todas las aves esten sangrando	f)	Descolgado		Recojo de las aves
g)	Rotulado		Inspección de la operatividad de la máquina	h)	Pesado		Inspeccionar el encendido de todos los motores de la máquina desplumadora
i)	Colgado		Verificar que todas las aves esten sangrando	j)	Control de Temperatura		Verificación y Registro de la temperatura del agua de escaldado

**Figura 13. Desarrollo de las Pruebas Experimentales**

PROCESO DEL MANEJO PARA DETERMINAR LA MERMA Y LA CALIDAD EN EL PROCESO DE ESCALDADO							
Proceso		Imagen	Método	Proceso		Imagen	Método
k)	Tablero de Control de la velocidad de Proceso de producción		Verificación de velocidad de proceso de producción	l)	Tablero de contactores		Verificación de encendido de Sopladores de aire
m)	Escaldado		Verificación del ingreso de las aves al tanque de escaldado	n)	Desplumado		Inspeccionar el encendido de todos los motores de la máquina desplumadora
ñ)	Descolgado		Recojo de las aves marcadas con cinta en un lado de la pata	o)	Pesado		Verificación y Registro del peso
p)	Descolgado		Selección de 1 pollo (1150-1650 gr.)	q)	Almacén de los pollos desplumados		Corte para la exposición de Pechuga
r)	Exposición		Registro de la valoración y fotografía				

**Figura 13. Desarrollo de las Pruebas Experimentales....continuación**

### 4.3.2 Procedimiento estadístico

Los tratamientos estudiados en el presente trabajo fueron 24; estos son mostrados en la tabla 13 la cual es elaborada por MINITAB, y para contraste de los valores tomados por la codificación se crea la tabla 14, los cuales indican los valores de cada nivel. Minitab desarrolla una combinación aleatorizada de los factores en estudio tal como se detalla a continuación:

**Tabla 13. Matriz de tratamientos diseñada con la codificación de Minitab**

Nro	Sopladores	Velocidad de Producción	Temperatura
1	3	1	1
2	1	1	1
3	2	1	2
4	3	2	1
5	1	2	1
6	3	2	1
7	3	1	2
8	1	2	2
9	3	1	2
10	1	2	2
11	1	1	2
12	3	2	2
13	2	2	1
14	1	1	1
15	3	2	2
16	2	1	1
17	2	2	2
18	2	1	2
19	1	2	1
20	3	1	1
21	2	2	1
22	2	2	2
23	1	1	2
24	2	1	1

**Tabla 14. Matriz de tratamientos con los valores de las variables independientes**

Nro	Número de Sopladores encendidos	Velocidad de Producción de pollos	Temperatura del agua del escaldador
1	3	8500	57
2	1	8500	57
3	2	8500	59
4	3	9500	57
5	1	9500	57
6	3	9500	57
7	3	8500	59
8	1	9500	59
9	3	8500	59
10	1	9500	59
11	1	8500	59
12	3	9500	59
13	2	9500	57
14	1	8500	57
15	3	9500	59
16	2	8500	57
17	2	9500	59
18	2	8500	59
19	1	9500	57
20	3	8500	57
21	2	9500	57
22	2	9500	59
23	1	8500	59
24	2	8500	57

#### **4.4 Respuesta de calidad y merma**

La muestra elegida sigue el proceso de beneficio de pollos de manera industrial, y nuestro estudio abarca desde la recepción del ave hasta el desplumado. De modo tal que para la prueba de merma los pollos, al final de la etapa del desangrado, son descolgados e identificados al nivel de la pata mediante unos tickets sujetos con pabilo; luego se procedía a pesarlo y registrarlo, finalmente son colgados e ingresan a la etapa de escaldado. Para la prueba de la valorización de la calidad del grado de escaldado de la pechuga, los pollos de 1550 a 1650 g. son descolgados a la salida de la peladora y con ayuda de un cuchillo se retira la piel que cubre a la pechuga.

#### **4.4.1 Materiales**

El requerimiento de equipos auxiliares fue:

- 1 Tina
- 1 Estantes de acero
- 1 Cuchillo de acero inoxidable
- Cámara Fotográfica
- 1 Tablero
- Escala de 1 al 4

#### **4.4.2 Métodos**

Cualitativo: Se midió la calidad del grado de escaldado de la pechuga en valores presentado en una escala de 1 a 4.

Cuantitativo: Para fines de cálculo e interpretación se expresará como merma a la diferencia de la unidad de la proporción del peso perdido el cual es obtenido luego del proceso de escaldado; según la ecuación presentada como N° 23.

#### **A) Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Para recolectar los datos de manera óptima y confiable se sigue los procedimientos descritos a continuación:

Calidad: Se siguió lo establecido por la tabla 9.

Merma: Nos guiaremos del concepto mencionado por Plaza (2013).

#### **B) Método para el levantamiento de información del diagnóstico situacional**

En primer lugar, empezamos por conocer los problemas de calidad del pollo entero y en filetes de pollo, luego se analizaron las causas de los defectos de calidad originadas en la planta, es así que se profundiza y se conoce el funcionamiento de la operación del proceso de escaldado, así también se calcula la capacidad del tanque de escaldado, se verifica los controles de la temperatura y luego terminamos con el

desarrollo y el análisis de las pruebas pre experimentales, para explicar los resultados de la determinación de la correlación de las variables de operación del proceso de escaldado en la calidad de la pechuga y la merma generada en el pollo tipo brasa.

**C) Métodos para la recolección de datos:**

Se crea una hoja de control, ver figura 14, para registrar cada tratamiento desarrollado y otras observaciones:

Control de Merma y Calidad de la pechuga en el proceso de escaldado del pollo brasa							
Tratamiento N°				Fecha			Hora
Sopladores Encendidos		Velocidad de Producción		Temperatura (°C)		Peso <1550 - 1650 g>	
# Pollo	Peso inicial	Peso Final	Merma	Observaciones	# Pollo	Calidad de la pechuga	Observaciones
1					1		
2					2		
3					3		
4					4		
5					5		
6					6		
7					7		
8					8		
9					9		
10					10		

**Figura 14. Formato de Control de la Merma y Calidad**

**D) Método de la aplicación del diseño factorial en Minitab**

En Minitab se crea el diseño factorial 3×2×2 con dos réplicas aleatorizadas, luego se colocan los datos obtenidos de las pruebas experimentales y se aplica la opción de análisis del diseño experimental y luego de ello este programa arroja la tabla de ANOVA, de modo que se interpreta la significancia de los factores en cada una de las respuestas, asimismo se realiza la lectura de las gráficas de efectos principales y de interacción de los factores y las respuestas del diseño experimental.

Posterior a ello se elige el comando de regresión, por la cual se identificará la ecuación del modelo que ayudará a que podamos predecir las respuestas según los factores de operación establecidos en el proceso.

### **E) Determinación de las respuestas de Calidad y Merma**

Para la determinación cuantitativa de las variables dependientes calidad y merma en el proceso de escaldado se realizaron los siguientes cálculos:

#### **- Cálculo de la Merma producida en el proceso de escaldado**

Se registró el peso inicial del pollo luego del desangrado y luego que se culminó el proceso de desplumado se registró el peso final; luego estos datos se reemplazan en la fórmula N° 23, y con esta fórmula se obtiene el valor de la merma en porcentaje o lo que es también es lo mismo decir el complemento del rendimiento. Durante el proceso de escaldado es considerando el peso de plumas como una constante en todas las aves de 4-5% mencionada por AVITECNIA.

$$\%Merma = \left( 1 - \frac{\text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \right) \times 100 \quad (23)$$

Mientras más pequeña es la merma, es decir su valor se acerca a cero, significa una variación mínima que implica un mejor rendimiento, es decir la diferencia de pesos vivo y el peso del pollo desplumado es mínimo.

#### **- Cálculo de la calidad de la pechuga en el proceso de escaldado**

En la tabla 9 se presenta la carta de valorización que cuantifica el grado de escaldado de la pechuga, donde Excelente y Bueno es un nivel aceptable (color *sui generis* a la carne de pollo) y Regular y Malo es no Aceptable, es decir presenta un sobre escaldado (color blanco) en más del 50 % de la pechuga. A partir de la escala de valores de la calidad de la pechuga, se evalúa, por experiencia, la proporción de la

pechuga blanqueada y se coloca la información en “valores” de la Hoja de Control de Calidad y luego se registró la fotografía de este.

#### **4.5 Análisis de la correlación de variables**

Para procesar y analizar los datos obtenidos de los diferentes tratamientos, se usó el análisis de varianza (ANOVA),  $F$  de Fisher y Valor  $p$ .

##### **4.5.1 ANOVA**

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para los diferentes tratamientos de los resultados obtenidos en la valorización del grado de escaldado y merma del proceso de escaldado para lo cual el cálculo y la construcción de la tabla se hizo manualmente y usando el programa Minitab (Anexo 1, 2 y 3).

##### **4.5.2 $F$ de Fisher y Valor $p$**

Para la contrastación de las hipótesis se usó los estadísticos  $F$  de Fischer y el valor  $p$ , esta última indica, que sí su valor es menor que 0.05, el tratamiento tiene un efecto sobre la calidad y la merma (inversa del valor rendimiento).

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección vamos a presentar el análisis y discusión que ha tenido esta investigación, el cual está dividido en tres partes:

### **5.1 Diagnóstico Situacional**

San Fernando es una empresa dedicada a la producción masiva de diferentes alimentos, cuenta con la certificación a nivel internacional en todos sus procesos del ISO 9001 y 14001 lo que ha permitido la autorización de exportación. En cada auditoría realizada por sus clientes (autoservicios y restaurantes), muestra un eficaz control de su proceso, basado en el monitoreo y la verificación sistemática. Sin embargo, debido a la creciente demanda de consumo de pollo fresco y congelado, las empresas avícolas cumplen con la NTP 201 054 (2001), pero no así es con las normas especificadas por la Sociedad de INVIMA y SENASA de Costa Rica, dado que su normatividad es más específica a nivel de calidad del proceso industrial. Es así que la empresa San Fernando no cumple siempre con lo establecido en su ISO 9001, de trabajar en rangos de 57.5 a 58.5 °C por la misma necesidad de cumplir con las exigencias de la producción.

En el plan de producción del proceso de beneficio se tienen pollos tipo carne y pollos tipo brasa, los pollos con diferentes anomalías se generan en granja, saca y planta, estos defectos generan un impacto negativo en la calidad siendo así una oportunidad de mejora los generados a nivel de planta debido al alcance propio de estas anomalías, para ello se revisó los registros de control de las anomalías originadas solo en planta de los pollos de segunda la cual se grafica en un diagrama de Pareto.

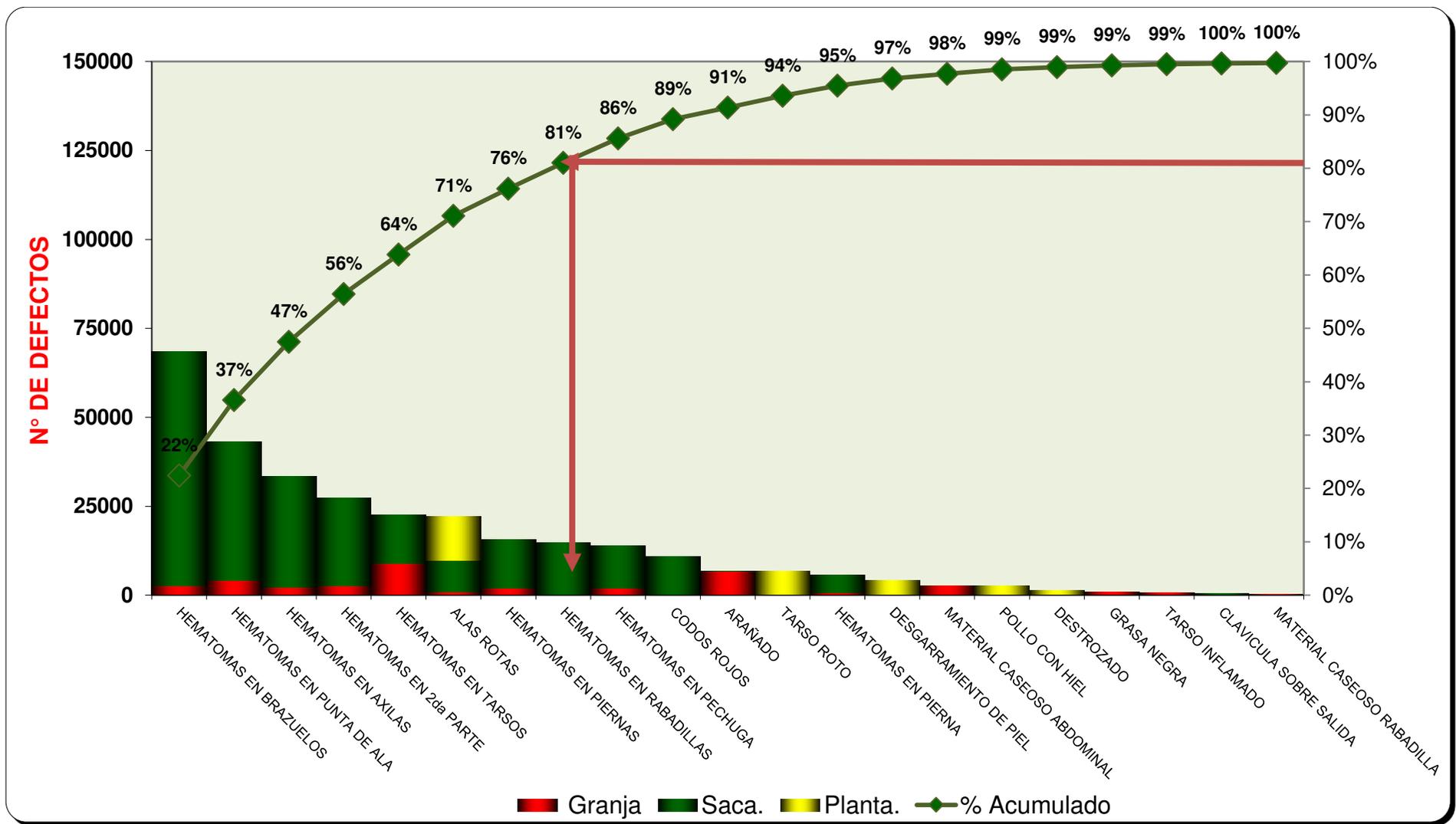
De la figura 15, que corresponde a un Diagrama de Pareto, podemos establecer que dentro del 20% de las causas de generación de pollos de segunda, están las de origen a nivel de planta y es representado en la gráfica como el 80% de los problemas y estas

son alas rotas, no siendo así tarso roto y desgarramiento de piel. Se infiere que estas anomalías nacen en el proceso de escaldado porque se cierran los brazos de la peladora en compensación por retirar el mayor porcentaje de plumas y cutículas. En la Tabla 15 se hace un análisis del % de acumulación de los defectos originados en planta teniéndose como principal defecto alas rotas desde el 2013 al 2014, en el último año se ve que se mejora por algunas contramedidas tomadas como por ejemplo implementación de dos turnos de trabajo, la colocación de una varilla de acero que ayuda a bajar las patas al nivel del gancho.

**Tabla 15. Acumulación de los defectos de calidad generados en planta**

Defectos	Años		
	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)
Alas rotas	77	71	85
Tarso roto	95	94	98
Desgarramiento de Piel	96	97	99

***Fuente: Figura 15***



**Figura 15. Diagrama de Pareto del pollo de segunda tipo Brasa**

*Fuente: San Fernando (2014)*

Al variar las velocidades de la cadena, relacionado al flujo de pollos, varían los tiempos de residencia de cada operación del proceso de beneficio de pollo, haciéndose que esos tiempos sean inversamente proporcionales a la velocidad de la cadena; ver tabla 16, esto es algo que afecta a la calidad, ver figura 15, pues existen estudios, normas y recomendaciones que establecen un tiempo adecuado en cada etapa del proceso de beneficio.

**Tabla 16. Diagrama de Análisis de Proceso en el área de Matanza**

N°	Descripción de la Actividad	○	◻	D	⇒	▽	Tiempo (s)	Observación
1	Colgado	●					3	Acción de colgar
2	Transporte hacia el aturdido				●		51	Datos desde el primer colgador
3	Aturdido	●					8	
4	Transporte hacia el deguello				●		11	
5	Sangrado	●					136	
6	Remojo en agua tibia	●					46	
7	Transporte hacia el escaldador # 1				●		9	
8	Escaldado # 1	●					65	
9	Pelado # 1	●					8	
10	Escaldado de alas	●					3	
11	Pelado # 2	●					8	
12	Pelado # 3	●					8	
13	Transp. hacia el corte oseo				●		44	
14	Corte oseo	●					1	Corte en el hueso del pescuezo
15	Transp. hacia el corte de pescuezo				●		6	
16	Corte de pescuezo	●					0	Desprendimiento del pescuezo
17	Transporte hacia el corte de patas				●		12	
18	Corte de patas	●					1	
19	Caida hacia la zona de eviscerado				●		2	
<b>Total</b>		12	0	0	6	0	<b>425</b>	

\*Velocidad de producción: 8500 pollos/hora

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 16 se reportan los tiempos requeridos de cada actividad para 8500 pollos/h, así mismo si se desea conocer los otros tiempos de cada actividad para procesar otras velocidades másicas éstas no pueden ser calculados de manera proporcional a las velocidades. Estos cambios de velocidades son acompañados con reajustes de la temperatura en el proceso de escaldado; esto es a mayor velocidad de producción mayor será la temperatura del proceso de escaldado. Este método usado de relacionar la velocidad con la temperatura de manera empírica provoca defectos en la calidad. Esto se refleja en el análisis del Diagrama de Pareto mostrado en la figura 15.

Se realizó una entrevista al encargado experimentado del área y a diferentes colaboradores del área de trabajo, quienes informaron de las debilidades del proceso de escaldado de pollo y sus efectos generados, las cuales repercutían en la rentabilidad de la empresa. Así mismo, cabe resaltar que la parte operativa son personas estratégicas que informan y dan sugerencias para las soluciones, de modo tal que el ingeniero recoja esa información, genere y transmita la confianza para que se lleve el proceso bajo control dentro de un buen clima laboral.

La tecnología usada fue comprada hace 20 años, y se adquirió cuando la producción de beneficio inicial estaba en 5000 pollos/h y a la fecha se procesa hasta 10000 pollos/h; por ello se revisó el manual del equipo y se realizaron los siguientes cálculos basados en la especificación del proveedor (Dinamarca Patente n° 12101000.011, 1996); es así que se obtienen algunos datos específicos del equipo en el manual.

Mediante contacto vía correo con el proveedor se determinó que el modelo del escaldador es de tipo N, porque el de tipo S es para pavos, los demás valores de las especificaciones se definen siguiendo los pasos especificados en el manual genérico con la recogida de datos en físico del tanque escaldador; así se desarrolló el siguiente procedimiento:

El volumen del tanque de escaldado se calcula a partir de la fórmula conocida:

$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{ancho} \times \text{alto} \quad (24)$$

$$\text{Volumen} = 6 \text{ m} \times 1.56 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} + \frac{6 \text{ m} \times 1.56 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}}{2}$$

$$\text{Volumen} = 8.7 \text{ m}^3$$

Donde:

$CF$ : Factor de Conversión

$L$ : Largo, mm

$H_1$ : Altura sin Panel, mm

$H_1$ : Altura con Panel, mm

$H_1$ : Altura con los Sopladores de aire, mm

Así mismo se calcula la distancia de cadena a cadena:

$$\text{Distancia de la cadena: } \frac{200 \text{ m de cadena} \times 100 \text{ cm} \times 1''}{1500 \frac{\text{ganchos}}{\text{Cadena}} \times 1 \text{ m} \times 25,4 \text{ cm}}$$

$$\text{Distancia de la cadena: } 6''$$

En la tabla 17 se presenta los modelos de tanque de escaldado tipo N y S con sus respectivas dimensiones.

**Tabla 17. Selección del Modelo del Escaldador**

Modelo	Capacidad (pollos/hora)	Medidas Principales (L×A×H)	
N - 2 pasos	1000	A = 905	H <sub>1</sub> = 1170,
N - 3 pasos		A = 1290	H <sub>2</sub> = 2100,
N - 4 pasos		A = 1675	H <sub>3</sub> = 2900,
N - 5 pasos		A = 2060	L ≥ 1500
S - 2 pasos	1000	A = 1025	H <sub>1</sub> = 1370,
S - 3 pasos		A = 1510	H <sub>2</sub> = 2300,
S - 4 pasos		A = 1995	H <sub>3</sub> = 2900,
S - 5 pasos		A = 2480	L ≥ 1500

**Fuente: Linco (1996)**

Para definir el modelo se sabe que el número de pasos de la cadena es de 4 y para conocer si el tipo es un N o S elegimos el que mejor se ajusta a nuestras medidas reales

que fueron correspondientes a un tipo N, y el cual es afirmado por el proveedor de Linco Food Systems, así mismo presentadas en la tabla 18.

**Tabla 18. Especificaciones para el Modelo de escalador N**

Modelo	Recomendaciones del número de sopladres de aire	Cantidad de agua en el tanque (m <sup>3</sup> )
N	$\frac{\text{No de pasos} \times L}{8000}$	$\frac{\text{No de pasos} \times 0,28 \times L}{1000}$

**Fuente: Linco (1996)**

En el proceso se ha establecido que para cubrir el tarso de las patas del ave, la altura del tanque sin agua es de  $10 \pm 5$  cm, y haciendo el cálculo con la ecuación 25 estamos con una cantidad de agua en el tanque de escaldado:

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de pasos} \times 0,28 \times \text{longitud}}{1000} \quad (25)$$

$$\text{Cantidad de agua en el tanque de escaldado} = \frac{4 \times 0,28 \times 6000}{1000}$$

$$\text{Cantidad de agua en el tanque de escaldado} = 6,72 \text{ m}^3$$

Efectivamente este valor aproxima a la medida real mencionada en el cálculo del volumen total.

En el cálculo del número de uso de sopladres de aire se obtuvo que son 3 los sopladres de capacidad de 3 kW.

$$\text{N}^\circ \text{ de sopladres} = \frac{4 \times 6000}{8000}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de sopladres} = 3$$

Para conocer la capacidad del equipo se trabaja con la tabla 19 donde observamos que no se encuentra el tiempo de residencia usado actualmente. Por lo tanto los resultados de producción y de calidad que se obtienen, no son garantizados por el proveedor de la máquina.

**Tabla 19. Factor de conversión**

Distancia de la cadena, pulgadas	Factor de Conversión CF			
	Tiempo de Escaldado (s)			
	90	120	150	180
4	392	294	135	196
6	263	197	158	132
8	196	147	118	98
10	157	118	94	79

**Fuente: Linco (1996)**

El modelo corresponde a un N de 4 pasos, con una distancia de la cadena de 6" y ubicando el CF con el tiempo vemos que es estamos por debajo de lo recomendado por el fabricante Linco Food Systems cuya capacidad mínima corresponde a un valor de 6321 pollos/hora. Y conociendo el tiempo de residencia del escaldado al que están sometidos las aves, extrapolamos un valor para CF, obteniéndose un valor de 322 y con ello se calcula la capacidad del proceso del tanque de escaldado según:

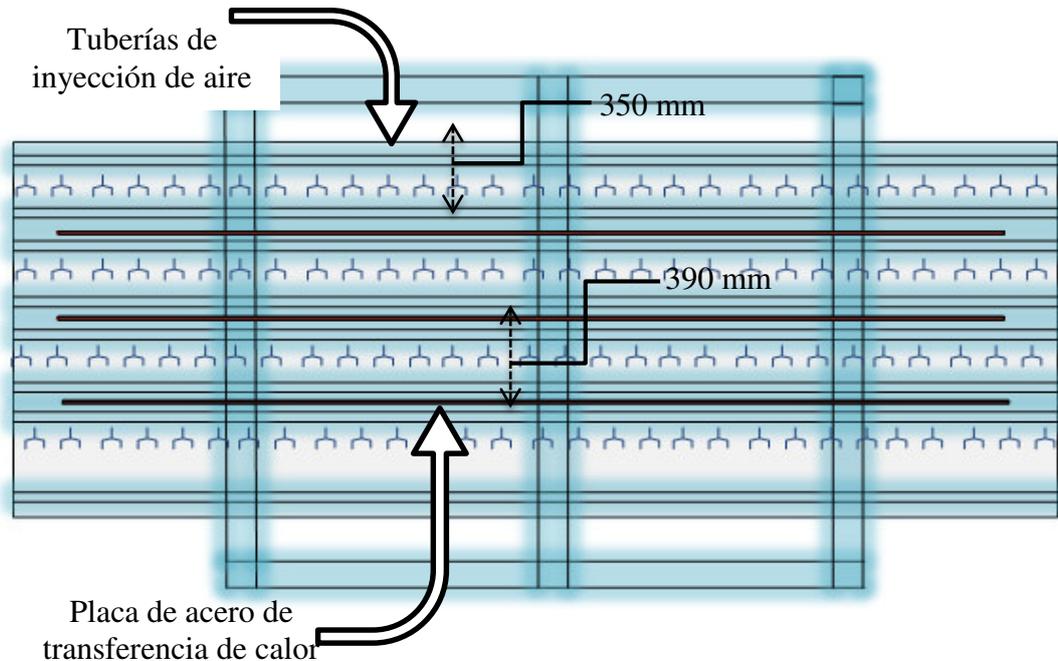
$$\text{Capacidad: } \frac{322 \times 4 \times (6000 + 0.9)}{1000}$$

$$\text{Capacidad: } 7729 \text{ pollos/h}$$

Con ello podemos ver que esta capacidad supera en 1408 pollos más al diseñado, o lo que es también válido decir que le falta 27 seg de tiempo de residencia en el agua, lo que no reportan en el manual es la temperatura de trabajo durante el escaldado.

Para ahondar más sobre la influencia que tiene el tanque de escaldado en el proceso se averiguó sobre el sistema de funcionamiento usado en planta. El modelo usado es un sistema tipo Air Jet, que quiere decir del tipo "chorro de aire", el cual es aplicado según el manual de Linco Food Systems para escaldar todo tipo de aves excepto para patos y gansos. Como ya hemos definido el modelo, es necesario conocer cómo trabaja internamente, para ello se tomaron medidas de las distancias de placa a placa cuyo valor es de 390 mm y de 350 mm de la placa a la pared del tanque, se analiza el sistema

de ingreso de aire a través de las quenas ubicados en la parte inferior del tanque de escaldado, observándose que las salidas del aire son de diferente geometría o forma, es decir unas son tipo “ojo chino” y otras en “círculos”. En la figura 16 se explica lo redactado líneas arriba.



**Figura 16. Plano del funcionamiento del tanque de escaldado**

*Fuente: Elaboración propia*

El tanque de escaldado está cubierto con placas, en la parte superior estas placas se pueden retirar de los lados solo para vigilar el proceso durante el escaldado y el desarrollo de la limpieza al finalizar el proceso; el estar cubierto con placas evita que el vapor se pierda, la parte lateral superior solo está cerrada en un extremo, de manera que la entrada y la salida de las aves están en el mismo extremo, (ver figura 16). Existe una válvula flotante con control del nivel del agua en el tanque, teniendo un uso de 0,5 L/ave. La válvula flotante está montada en una caja ubicada en el extremo del tanque.

La conexión de piezas (conectores) para la limpieza de las tuberías de aire y la conexión de piezas para el agua de desagüe son ubicadas en el extremo exterior final

del tanque. El vapor de agua de los radiadores va conectado a las tuberías como se observa en la figura 17.



**Figura 17. Placas de transferencia de calor**

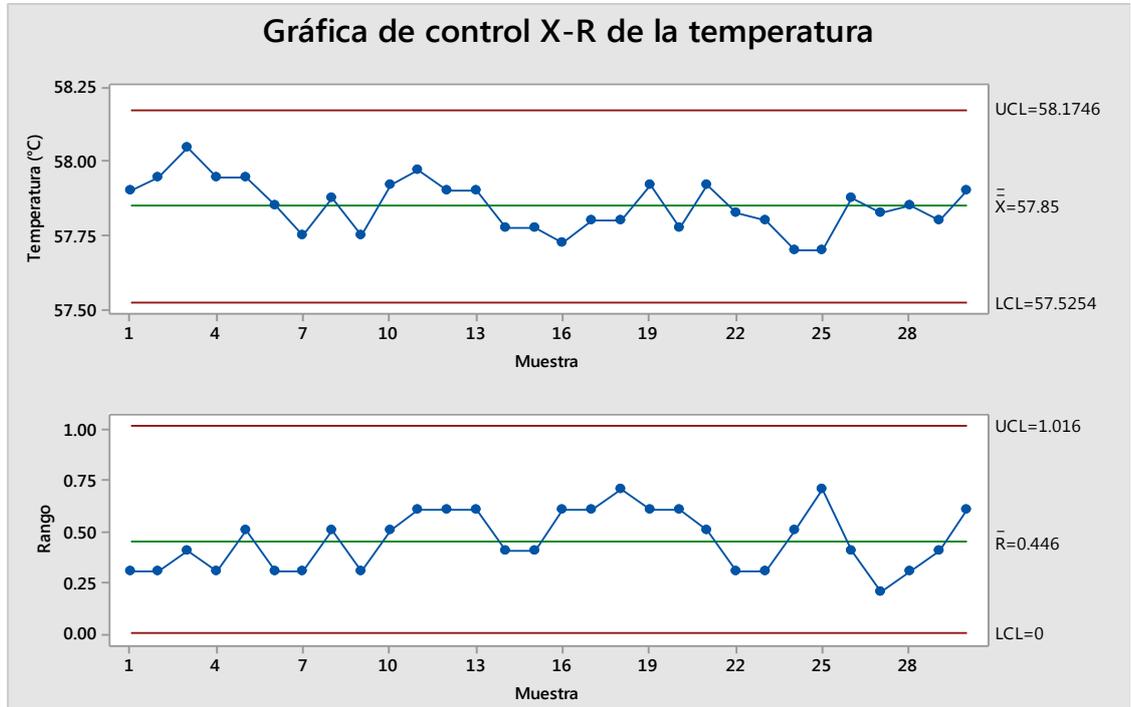
En relación al controlador de temperatura TC 220, que usa el escaldador para mantener la temperatura requerida y registrar su temperatura, ver figura 18. Este sistema consta de dos válvulas de asiento que hacen que ingrese o se cierre de acuerdo a la temperatura de consigna definida por el operador. Estos dos sensores están en la parte inferior del escaldador.

Se constató que los controladores de temperatura TC 220 y el sistema reciben un mantenimiento, el cual consiste en la contrastación de la temperatura que registra el sensor con el termómetro patrón; en caso se requiera se hacen los ajustes necesarios y la limpieza del mismo para evitar tomar malas lecturas.



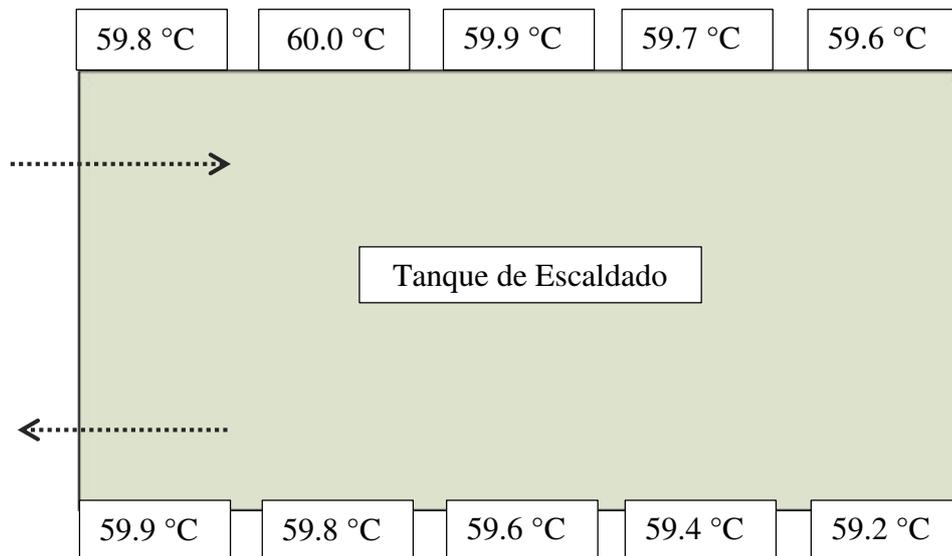
**Figura 18. Controlador de Temperatura**

Se analizó la variación de las temperaturas del sistema de control electrónico mencionado, para lo cual se midió la temperatura por 6 segundos con lapsos de tiempo de 3 min durante 4 días se registró la temperatura mostrada en el controlador de temperatura. La figura 19 indica que este equipo se encuentra bajo control, teniendo como promedio de la temperatura el valor de  $57.8^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  y temperatura fijada en  $57,9^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 19. Gráfico de Control de la Temperatura del Controlador**

Mientras que, en la toma de temperatura realizada manualmente sobre la superficie del agua, se obtiene un promedio de  $59,7^{\circ}\text{C}$  con una desviación estándar de  $0,2^{\circ}\text{C}$  en la temperatura fijada del controlador fue  $58,8^{\circ}\text{C}$ . La temperatura del agua de escaldado demostró una estrecha agrupación de temperaturas finales ( $59,2^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ ) con un aumento casi lineal en todos los lugares monitoreados; esto indica que en la superficie la temperatura está por encima de la temperatura fijada. En la figura 20 se presenta la ubicación de la toma de temperaturas al borde del escaldador, esta toma se realizó 3 veces en cada punto.



**Figura 20. Temperaturas del agua de escaldado**

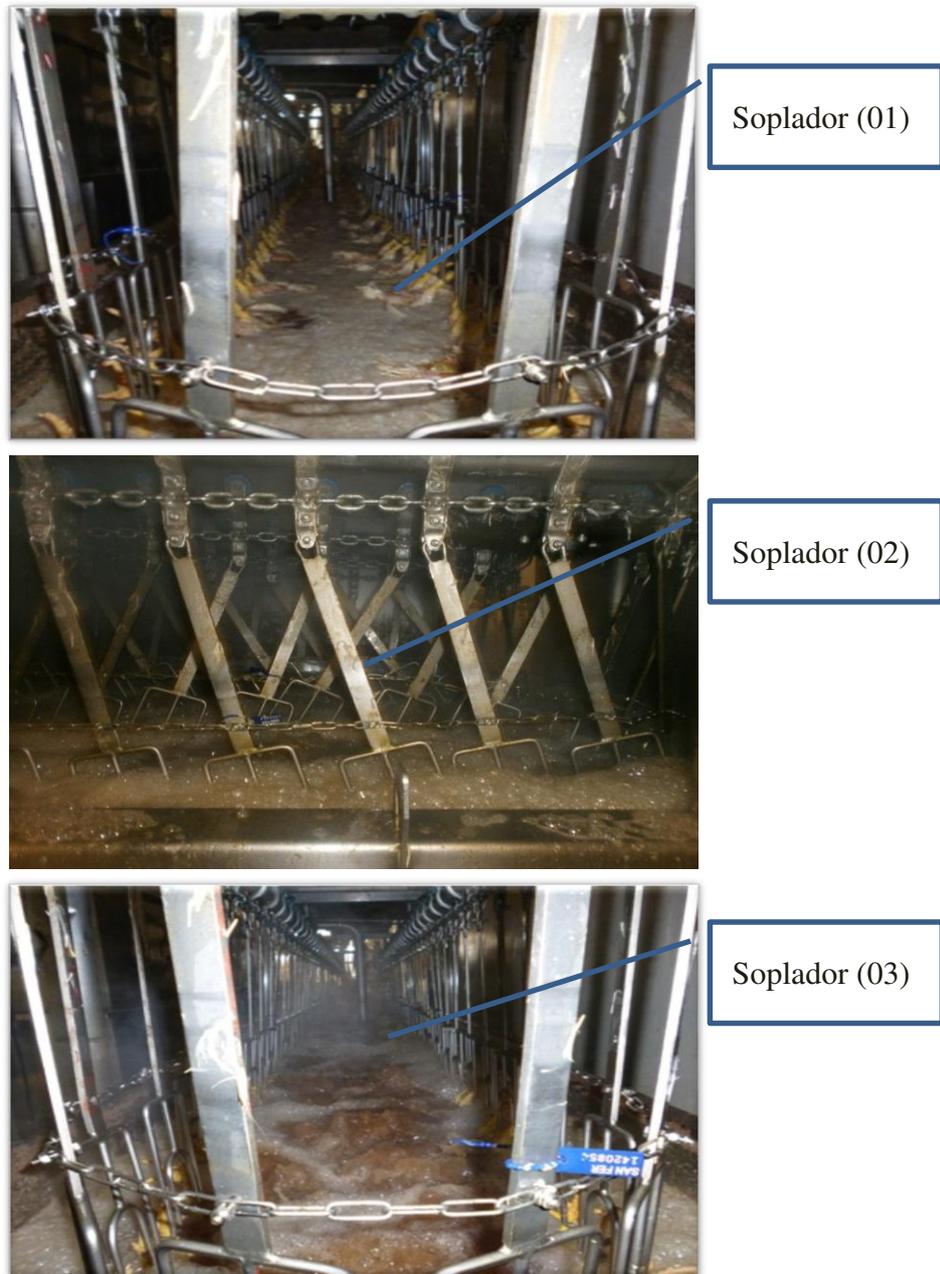
El controlador digital de temperatura se diferencia de la toma de temperatura manualmente, lo cual nos explica de la precisión del equipo. Para verificar esto se aplica la  $t$  de student.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (26)$$

$$\frac{59.7 - 58.8}{0.25/\sqrt{10}} = 11.4$$

Comparado con el  $t$  de Student de tablas:  $t(0.05, 9) = 2.26$ ; se concluye que sí hay diferencia significativa de los valores de la temperatura en el tanque respecto a la temperatura del controlador.

Los sopladores están ubicados en la parte superior del tanque son colocados como se muestra en la figura 21, dos pertenecen al equipo, el cual fue comprado hace 20 años, y uno fue comprado en el 2015 donde tiene la misma especificación de los anteriores, pero corresponde a una implementación “hechiza”. La diferenciación del encendido de cada uno de los sopladores se presenta en la figura 22, donde se muestra el incremento de la agitación del agua en el tanque de escaldado.

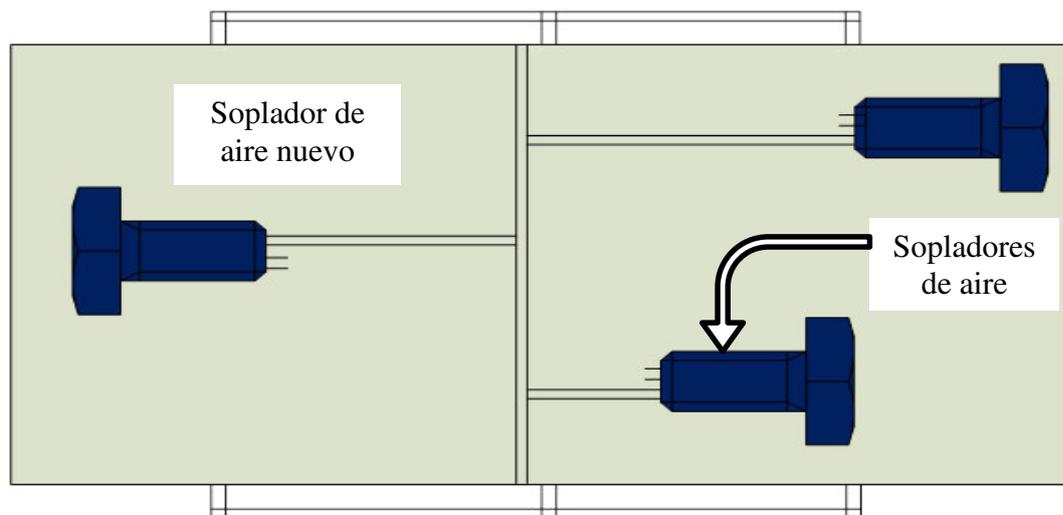


**Figura 21. Diferenciación del encendido de los sopladores.**

***Fuente: San Fernando.***

Para la confiabilidad de su operatividad se informa de algunos mantenimientos preventivos que se desarrollaron como:

- Megado del motor eléctrico
- Megado de la corriente eléctrica
- Pintado, barnizado y estufado



**Figura 22. Conexiones de los Sopladores de aire**

Según los cálculos realizados a través del manual de máquinas del proveedor LINCO recomienda que para el modelo N- 4 pasos se disponga de 6.72 m<sup>3</sup> de agua en el tanque y una capacidad de 6000 pollos/hora, ver tabla 20.

**Tabla 20. Especificaciones del tanque de escaldado N-4 pasos**

Modelo	Recomendaciones del número de sopladores de aire (4.0 kW)	Cantidad de agua en el tanque (m <sup>3</sup> )	Capacidad (pollos/hora)
N- 4 pasos	3	6.72	6000

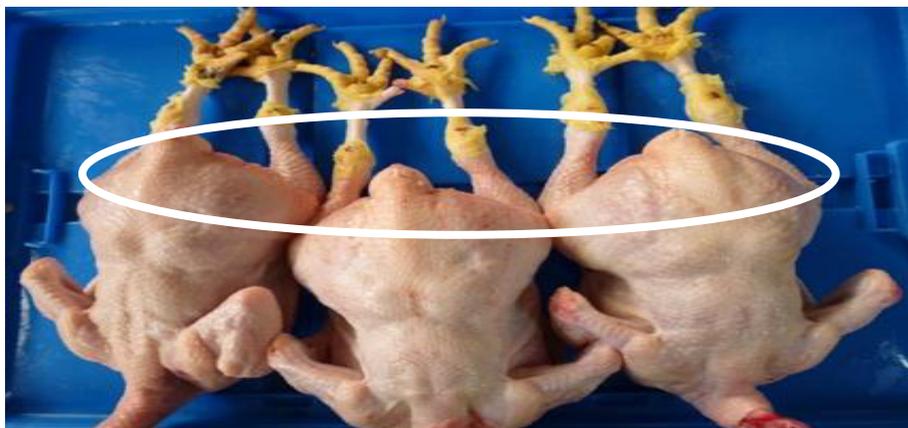
Con estos alcances revisamos y explicamos la producción en un día normal, las aves llegan de la granja se registra la información del lote, el encargado del área prepara los equipos para iniciar con el beneficio de estos pollos tal y como están establecidos para 10200 pollos/hora, temperatura en el rango de 58.4 a 59.4°C y con 2 sopladores de inyección de aire. Debido al incremento de la demanda, se ha tenido que aumentar la velocidad de producción del proceso de beneficio y para compensar el tiempo requerido de residencia del proceso de escaldado se eleva la temperatura del escaldador a 59.4 °C para obtener un buen escaldado; no obstante, se midió el efecto y el 30% es

afectado en la apariencia del nivel de cocción de la pechuga, como se muestra en la foto de la figura 23, a su vez deteriorando, aparentemente, aún más la grasa subcutánea.



**Figura 23. Pechugas sobre escaldadas**

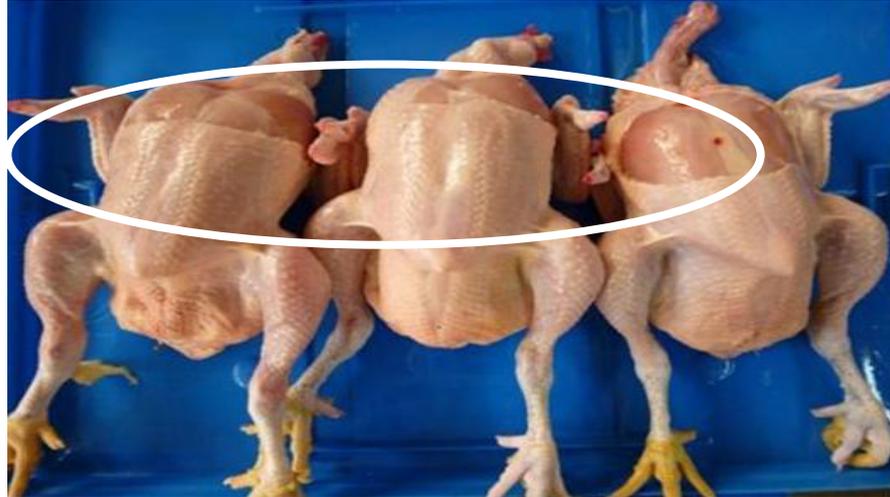
El trabajar con una temperatura de escaldado menor a 58.0 °C y mantener una velocidad de producción del proceso de beneficio (10200 pollos/h) contribuye a que haya menor tiempo para remover la cutícula a nivel del tarso, como se aprecia en la figura 24.



**Figura 24. Presencia de cutícula a nivel del tarso del pollo**

Por consiguiente en el proceso de desplumado se tienen que cerrar más las peladoras para compensar el tiempo de permanencia en el escaldador y en consecuencia se tienen pollos de segunda (roturas de alas, desgarró de piel, tarso roto), ver figura 25, todo con el objetivo de asegurar su desplumado, estos valores de operación de velocidad de

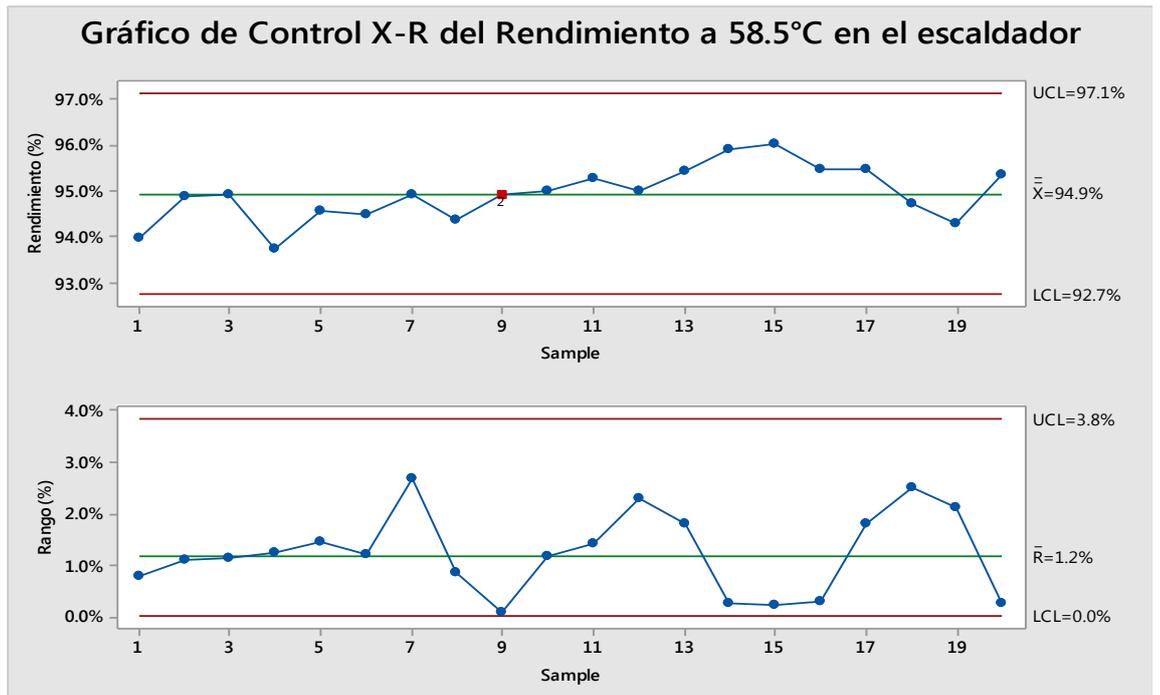
producción y temperatura afectan directamente en mayor proporción la calidad y rendimiento del ave, por lo tanto si no se modifican estos parámetros se necesitarán más personas para el repasado de plumas.



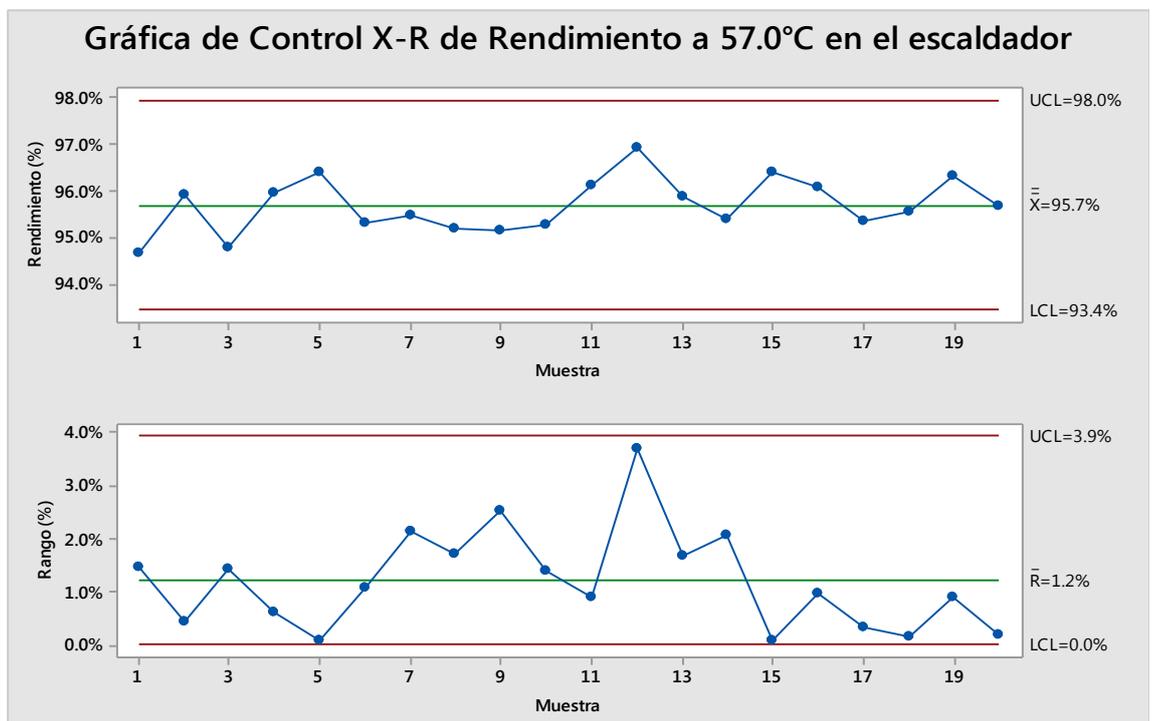
**Figura 25. *Desgarramiento de piel***

Las figuras 26 y 27 muestran gráficos de control de las pruebas planteada antes de la investigación, donde se muestra la dispersión del porcentaje de rendimiento de 20 pollos, desde el desangrado hasta la salida de la peladora. El porcentaje promedio es de 94.9 % a una temperatura en el escaldador de 58.5°C y 95.7% a una temperatura en el escaldador de 57.0°C con 10200 pollos/h y 1120 m<sup>3</sup> de aire/h.

Al realizar las pruebas experimentales se comprueba las consecuencias de lo mencionado para los aspectos involucrados en la parte operativa; esto es, que parte de los pollos procesados no tenían las características de calidad deseada, como así también la variabilidad del rendimiento productivo.



**Figura 26. Pruebas de rendimiento a 58.5°C el agua de escaldado**



**Figura 27. Pruebas de rendimiento a 57°C el agua de escaldado**

## **5.2 Respuesta de calidad y merma**

Los valores numéricos se obtienen de los promedios de 10 pollos por cada tratamiento planteado, tanto para la evaluación de merma y calidad, los cuales se muestran en la tabla 21 y 22 respectivamente.

En la Tabla 21, los valores del coeficiente de variación van desde 9% hasta 32%, dicha variabilidad de merma no es muy grande, esto quiere decir que el promedio que se calcula es representativo para los 10 pollos analizados en cada tratamiento.

**Tabla 21. Resultados de la variable merma vs. Tratamiento**

Nro	Número de Sopladores encendidos	Velocidad de Producción de pollos	Temperatura del agua del escaldador	Merma (%)	Desviación estándar (%)	Coefficiente de variación (%)
1	3	1	1	4.055	0.72	15
2	1	1	1	4.789	0.70	18
3	2	1	2	5.207	1.18	23
4	3	2	1	5.164	0.65	14
5	1	2	1	3.619	0.58	16
6	3	2	1	4.020	0.40	10
7	3	1	2	4.552	1.09	24
8	1	2	2	3.740	0.67	18
9	3	1	2	4.847	0.85	18
10	1	2	2	3.727	0.88	24
11	1	1	2	4.929	1.20	24
12	3	2	2	4.830	0.93	19
13	2	2	1	4.535	0.63	14
14	1	1	1	4.625	1.30	28
15	3	2	2	4.531	0.45	10
16	2	1	1	5.647	0.92	16
17	2	2	2	3.705	0.58	16
18	2	1	2	4.345	0.40	9
19	1	2	1	4.570	0.56	12
20	3	1	1	4.503	0.53	11
21	2	2	1	4.255	0.78	18
22	2	2	2	4.267	0.44	10
23	1	1	2	5.041	0.92	18
24	2	1	1	4.293	1.37	32

La descripción literal de la calidad del nivel de cocción de la tabla 22 se guía por lo presentado en las fotografías de la tabla 9.

**Tabla 22. Descripción de la calidad de escaldado**

Nº	Número de Sopladores encendidos	Velocidad de Producción de pollos	Temperatura del agua del escaldador	Calidad	Descripción
1	3	1	1	1.20	aceptable
2	1	1	1	1.00	aceptable
3	2	1	2	3.20	no aceptable
4	3	2	1	1.70	aceptable
5	1	2	1	1.40	aceptable
6	3	2	1	1.90	aceptable
7	3	1	2	2.20	aceptable
8	1	2	2	2.20	aceptable
9	3	1	2	2.70	aceptable
10	1	2	2	2.40	aceptable
11	1	1	2	2.70	aceptable
12	3	2	2	1.60	aceptable
13	2	2	1	1.00	aceptable
14	1	1	1	1.40	aceptable
15	3	2	2	2.60	aceptable
16	2	1	1	1.50	aceptable
17	2	2	2	2.00	aceptable
18	2	1	2	1.60	aceptable
19	1	2	1	1.00	aceptable
20	3	1	1	1.20	aceptable
21	2	2	1	1.10	aceptable
22	2	2	2	2.50	aceptable
23	1	1	2	2.30	aceptable
24	2	1	1	1.00	aceptable

En la figura 28 mostramos algunas imágenes del grado de escaldado de las pechugas de cada tratamiento realizado en el proceso de escaldado, donde las zonas más susceptibles al color blanco de sobreescaldada son las zonas libres de plumas.

N° de Tratamiento	N° de sopladores	Velocidad de Producción	Temperatura	Imagen	Valorización
13	2	2	1		1
14	1	1	1		1,4
8	1	2	2		2,2
11	1	1	2		2,7
3	2	1	2		3,2

**Figura 28. Valorizaciones de la Calidad de la pechuga**

### 5.3 Análisis de la correlación de variables

Para el análisis descriptivo de las condiciones trabajadas según nuestro diseño factorial se combinó todos los factores en todos sus niveles para después determinar la correlación de factores con la merma y calidad.

#### - Variable Merma

El Análisis de Diseño Factorial se muestra en la tabla 23, los resultados arrojados de los valores  $p$  indican que, existe una significancia estadística en el factor velocidad

de producción con un valor  $p$  de 0,029 sobre la variable merma, con un efecto estadísticamente significativo de 95.0% de nivel de confianza.

Así también, comparando el  $F$  calculado con el  $F$  de las tablas (3,89 y 4,75) ubicadas en el anexo 7 solo existe diferencia estadísticamente significativa.

Se construye a continuación la Tabla 23 de ANOVA para la merma con las variables soplador, velocidad de producción de pollo y temperatura.

**Tabla 23. ANOVA multifactorial de Merma vs. Variables**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	$F_0$	Valor $p$
Soplador	0.000015	2	0.000008	0.33	0.726
Velocidad de Producción	0.000144	1	0.000144	6.15	0.029
Temperatura	0.000001	1	0.000001	0.02	0.884
<i>AB</i>	0.000128	2	0.000064	2.73	0.105
<i>AC</i>	0.000031	2	0.000015	0.66	0.534
<i>BC</i>	0.000023	1	0.000023	1.00	0.336
<i>ABC</i>	0.000005	2	0.000002	0.10	0.904
<i>Error</i>	0.000280	12	0.000023		
<i>Total</i>	0.000626	23			

**- Variable Calidad**

Los resultados arrojados en la tabla 24, indican para cada factor sus valores  $p$  y que solo existe una significancia estadística en el factor temperatura,  $p = 0,000$ , sobre la variable calidad, con un efecto estadísticamente significativo al 95.0% de nivel de confianza.

Así también, comparando el  $F$  calculado con el  $F$  de las tablas (3,89 y 4,75) ubicadas en el anexo 7 solo existe diferencia estadísticamente significativa. A continuación se construye la Tabla de ANOVA para la calidad con las variables independientes, ver tabla 24.

**Tabla 24. ANOVA multifactorial de calidad vs. variables.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	$F_0$	Valor $p$
Soplador	0.090833	2	0.045417	0.22336	0.803
Velocidad de Producción	0.015000	1	0.015000	0.07	0.791
Temperatura	6.615000	1	6.615000	32.53	0.000
<i>AB</i>	0.097500	2	0.048750	0.24	0.791
<i>AC</i>	0.227500	2	0.113750	0.56	0.586
<i>BC</i>	0.201667	1	0.201667	0.99	0.339
<i>ABC</i>	0.270833	2	0.135417	0.67	0.532
<i>Error</i>	2.440000	12	0.203333		
<i>Total</i>	9.958333	23			

### 5.3.1 Factores que influyen en la merma como en la calidad de la pechuga

Durante el proceso de escaldado de las aves se eligen dos indicadores que miden la eficiencia de este proceso.

#### - Variable Merma

Se obtuvo el valor mínimo de merma,  $3,619 \pm 0,58 \%$ , con un soplador cuya capacidad de flujo de aire, según la placa específica, es de  $420 \text{ m}^3$  de aire/hora, para una velocidad de 9500 pollo/h y una temperatura de  $57^\circ\text{C}$ ; y el valor máximo de merma fue de  $5,647 \pm 0,92 \%$ , con factores de operación de dos sopladores, cuya caudal comprende  $840 \text{ m}^3$  de aire/hora, para una velocidad de 8500 pollos/hora y una temperatura de  $57^\circ\text{C}$ .

Rodriguez (2011) considera también que el porcentaje de plumas está entre 5-6%, teniendo como temperaturas de trabajo  $62$  a  $64^\circ\text{C}$  y tiempo de residencia de 45 s. Nunez, (2008) trabajó con temperatura del agua de escaldado en el rango entre los  $58$  y  $62^\circ\text{C}$ , encontrando que sus efectos son negativos, debido a que la delgada capa subcutánea de grasa de las aves empieza a fundirse parcialmente durante la inmersión y se exuda a través de los poros de la piel, lo que finalmente reducirá el rendimiento

de las canales en un 0.5% y esta diferencia más la constante plumas indicada por Rodriguez (2011) es de 5,5 a 6,5%, y usando temperaturas de 57°C en nuestro estudio se obtuvieron mermas con un promedio de  $4.506 \pm 0.5 \%$  (ver figura 29) muy por debajo de lo indicado en la referencia, entendiéndose que la constante plumas más la grasa subcutánea está en el rango de 4 a 5% para esta temperatura de trabajo.

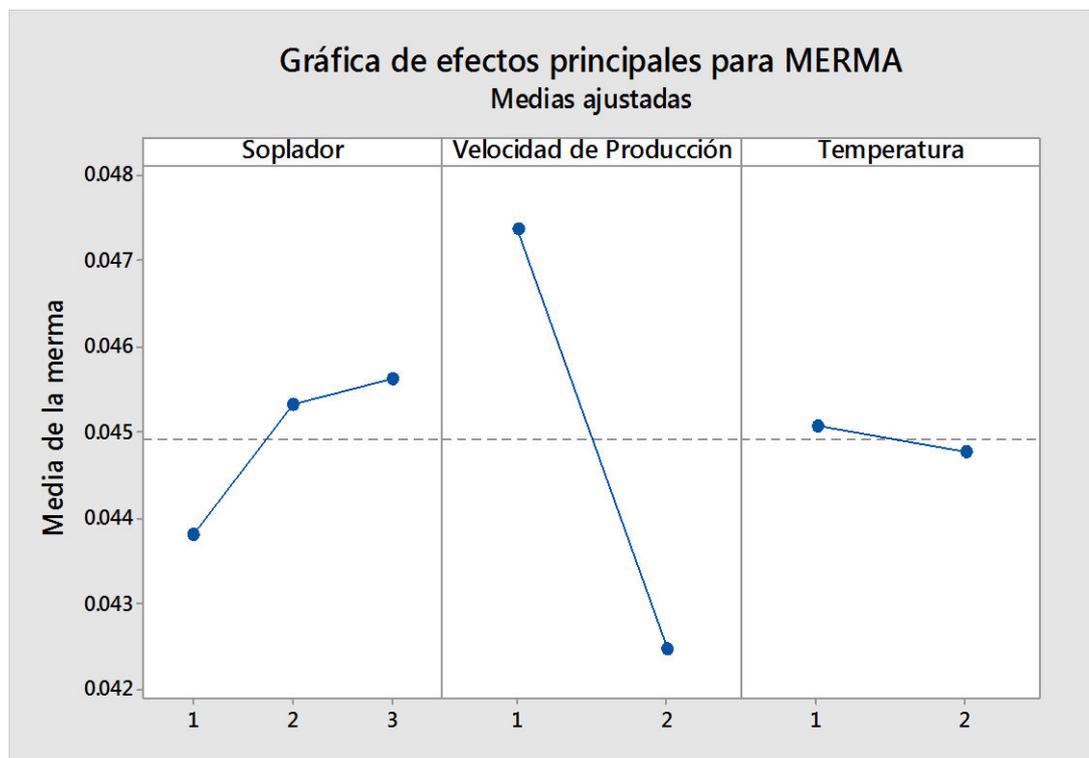
Al encender un soplador se aprecia un nivel del agua con una turbulencia casi nula, además que el burbujeo del agua es mínimo; cuando se activan los dos sopladores se incrementa la turbulencia del agua, la cual se refleja con un mayor burbujeo del agua, y es así que se obtiene un rebalse mínimo de espuma. Y al encender los tres sopladores, aumenta la turbulencia, la que genera mayor cantidad de espuma y esta se pierde a los alrededores arrastrando agua, lo cual hace que se tenga que usar más agua de reposición.

El indicador que se usa para manipular el flujo de reposición de agua es el nivel que debe estar por encima del tarso de las aves, induciendo a tener una variable más del proceso, si no se controla adecuadamente, diversos autores como Cervantes & Sánchez (2009) concluyen que para que se genere un buen escaldado se deben verificar y controlar las variables; mientras que Rodriguez (2011) indica que se debe de observar conjuntamente las cuatro variables, temperatura del agua, tiempo de escaldado, inmersión total del cuerpo del ave y el grado de agitación del agua, más no estudian la relación del grado de agitación con la pérdida de agua, frente a una cierta capacidad de sopladores que se hace uso.

Con dos sopladores encendidos la reposición de agua que se aplica para compensar la cantidad de agua perdida, que se llevan las aves, está alrededor de 0,5 litros/ave; y al encender los tres sopladores se requiere mayor ingreso de agua para mantener el nivel del agua constante y se escalde adecuadamente los tarsos de las aves.

La espuma que se observa se incrementa cada vez más por la suma de efectos de la inyección de aire y materia orgánica presente, estos sólidos o heces se remueven durante las horas de proceso sobre la superficie de las plumas del ave, evitando que el agua ingrese de manera efectiva en los folículos, finalmente estas heces flotan y van saliendo a la superficie esto manifiesta la variabilidad en el sistema para una adecuada transferencia de calor del agua caliente hacia los folículos de las plumas.

Por lo explicado, los promedios de la merma,  $4,38 \pm 0,5\%$ ,  $4,53 \pm 0,6\%$  y  $4,56 \pm 0,4\%$ , no son tan diferenciadas en los tres niveles tanto para 1, 2 y 3 sopladores activos respectivamente; por ello no se ve que sea una variable significativa, estadísticamente con un nivel de confianza del 95%, ver figura 29.



**Figura 29. Gráfica de Efectos Principales para la variable Merma.**

Al incrementar la velocidad de la línea se incrementa el flujo másico (pollos/hora) o lo mismo decir la capacidad de procesamiento (kg/hora), por ello los tiempos de operación de cada etapa, aturdido, desangrado y escaldado, varían en relación directa a este incremento e influyen en el rendimiento. Comparando los efectos de los tiempos

de residencia para 8500 pollos/hora (63 s) y 9500 pollos/hora (57 s), con los valores presentados en la tabla 1, se establece que, en primer lugar, que estos tiempos de residencia son muy cortos, y cuando se efectúa el proceso de desplumado en la peladora, los resultados no son adecuados y como acción correctiva los operarios se encargan del retiro total de las plumas. Además, se debe considerar que se mantiene el mismo número de operarios trabajando, de modo tal que se incrementa la productividad.

Con la velocidad de producción nivel dos, en algunos casos se descolgaban a los pollos como acción inmediata porque el tiempo es insuficiente para retirar las plumas de las partes de punta de ala o rabadilla, lo que hace que mientras el pollo está en espera se retiren las plumas, esta ave se va deshidratando, al punto de llegar a tornarse un color marrón producto de la oxidación de sus componentes, confirmando que esta reacción se acelera en el ambiente.

El rango usado para la velocidad de producción ha hecho que se observe el efecto de la variación del promedio de la merma, de modo tal que, para esos tiempos de residencia relacionados a la velocidad de producción trabajada, el pollo sufre la remoción de su grasa y la continuará perdiendo también en el desplumado. En el tanque de escaldado no se controla el porcentaje de absorción de agua que podría darse a través de la abertura realizada en el degüello.

Analizando el conjunto de datos de los resultados de mermas vs. la velocidad de producción; se tiene que mayor merma,  $4,736\% \pm 0,004$ , se alcanza con una velocidad de producción de 8500 pollos/hora y menor merma,  $4,247\% \pm 0,005$ , para una velocidad de producción de 9500 pollos/hora, efectivamente, por todo lo mencionado en párrafos anteriores, el factor principal que influye en estos resultados es el tiempo de residencia o de contacto; así se tiene por ejemplo que para la velocidad de

producción de 9500 pollos/h el tiempo de residencia es 58 s que es mucho menor comparado con la velocidad de 8500 pollos/h.

Según la figura 18 y 19 podemos indicar que la temperatura no es igual en todos los puntos ni constante en el tiempo por la misma continuidad del proceso y también debido al ingreso de pollos de diferentes pesos y a la turbulencia generada por los sopladores. Al usar una temperatura mínima de 57°C, se colocan cuatro personas de la parte operativa a la salida de la peladora, porque se tenía que retirar la cutícula del tarso, convirtiéndose en una actividad adicional a los que solo retiran plumas; también se tiene que descolgar a los pollos como acción correctiva en el caso de no salir fácilmente. La diferencia de los promedios de las temperaturas no es estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 95%, este resultado no puede compararse con los de los trabajos de diversos autores resumidos en la tabla 1, pues para esos diferentes valores reportados de temperatura, no indican a qué línea genética de pollos corresponde ni tampoco cual es el porcentaje de grasa perdida.

#### - **Variable Calidad**

De los 240 pollos evaluados tenemos que el color de la pechuga difiere en el color *sui generis* y así también el color de la grasa para cada ave. Mcke, Cobb, & Padilla (2012) concluye que en todos los tratamientos algo que debemos resaltar al evaluar el grado de cocción de la pechuga es el cambio del color del músculo, también determina que si se ha sido cocinado apropiadamente el color característico es un rosado, pero de las fotos adjuntas en el anexo 4, observamos que el color de las pechugas de las aves son alteradas por otros factores que influyen en el color como la genética, el factor de estrés ambiental, métodos de procesamiento, composición química y los métodos de cocción. Es por eso que pasamos a revisar el color del músculo inicialmente como un *sui generis*, y en el grado de cocción nivel 3 y 4 el color es igual a un color blanco,

cuando se observa un sobre escaldado, esta se mide más en el grado de expansión del color blanco.

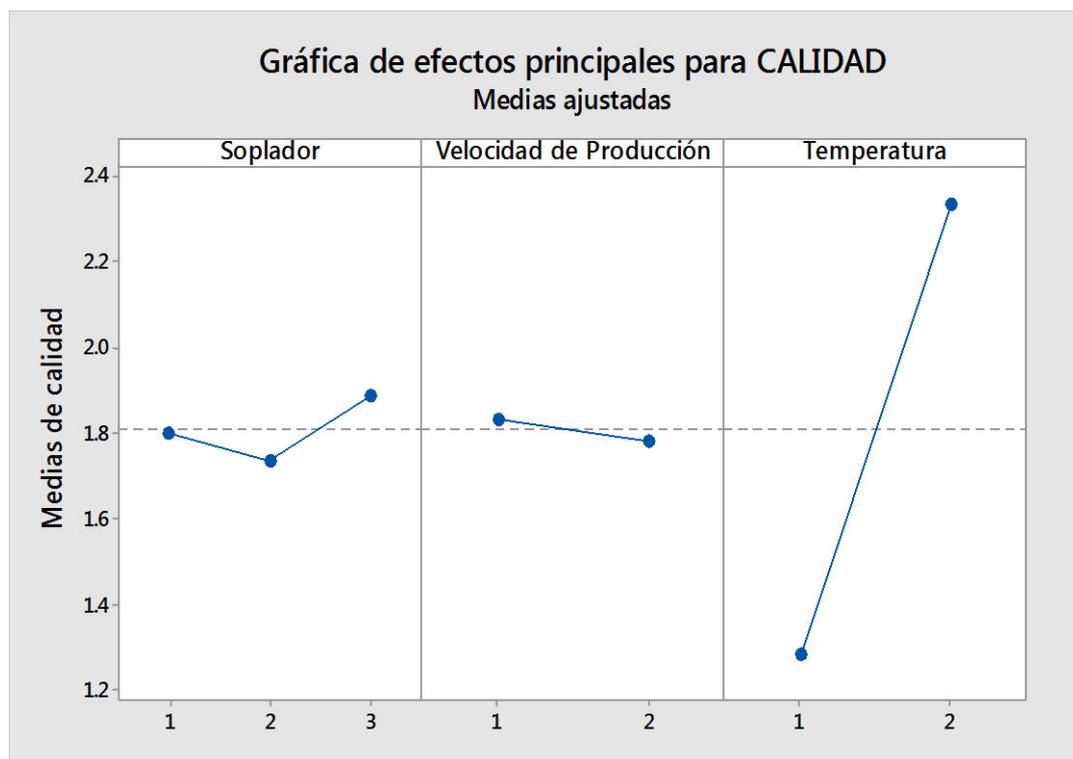
Investigando cual es el factor que contribuye a la variación de color de la carne Fletcher, (2002) explica que el color de la carne se da por dos factores: el contenido de mioglobina, estado químico de la estructura del hemo, y el pH de la carne. Se ha demostrado que el pH del músculo se relaciona con el color por el estado bioquímico del músculo en el momento del sacrificio y después del desarrollo del rigor mortis. En nuestra evaluación se excluye esta característica porque evaluamos el grado de cocción en el grado de expansión del color blanco de la pechuga.

Los bordes de la pechuga ubicada en la zona ventral de la pechuga, es la de mayor incidencia de blanquearse o ser afectado por la cocción, llegando a ser la parte más susceptible a la desnaturalización de la proteína, esto se da por efectos insuficientes de cubrimiento de grasa y porque la cocción es directa en esta zona. La presencia de arañoses influye en una mayor remoción de la grasa, debilitando así la piel; otro tema es el problema de dermatitis de contacto, que también es una lesión que puede debilitar la piel del ave, la resistencia de las aves según el sexo, peso, y origen “granja” son factores que no se bloquearon en el experimento.

De la explicación de la tabla 9 a la muestra de pollos estudiadas, se establece para cada uno de los tratamientos estudiados los siguientes resultados. Tratamiento con nivel aceptable 23 y no aceptable 1, estas consideraciones de los niveles de aceptabilidad hacen referencia a SENASA de Costa Rica donde valores mayores iguales a 4 son valor para decomiso o eliminación, esta evaluación hace muy fácil y práctica al operador de la máquina, ya que como también Fletcher (2002) menciona que en otras investigaciones se han demostrado claramente que la muestra del espesor de la carne de pechuga y el color de fondo pueden afectar dramáticamente las lecturas

de color instrumentales. También indica que, estos métodos de colorimetría no son de óptimos diseños para para medir el color de los materiales opacos, como la carne, donde gran parte de la luz es bien transmitido o absorbidos en lugar de ser reflejada hacia el detector. Sin embargo, los sistemas para medir el color o reflectividad de tales materiales no son fácilmente disponibles para la determinación del color de la carne.

Con la combinación realizada por los factores y sus niveles propios del experimento, los valores de calidad son de  $1.81 \pm 0,66$ , donde su descripción literal corresponde a un nivel aceptable, y será de preocuparse por revisar el proceso si exigimos una calidad mayor donde el grado de escaldado sea menor a 2 a nivel de planta, específicamente por el incremento de la demanda en pechugas sin piel en bandeja para supermercados.



**Figura 30. Gráfica de Efectos Principales para la variable Calidad.**

De la figura 30, con los sopladores activos obtenemos un nivel aceptable de calidad con valores muy cercanos entre sí, así para dos sopladores se tienen valores de  $1.74 \pm 0.79$ , para un soplador valores de  $1,80 \pm 0,67$ , y para 3 sopladores valores de  $1,89$

$\pm 0,58$ ; esto indica que la inyección de aire no genera valores en la calidad de rangos muy diferentes, porque mantiene los valores dentro de los niveles aceptables con las variaciones que hemos planteado en el experimento, lo que es lo mismo decir estadísticamente no tienen impacto (valor  $p > 0,05$ ) en la calidad. El proveedor Cattaruzzi Srl (2016) recomienda 3 sopladores de 4 kW que hace una total potencia de 12 kW para 3000 pollos, lo cual se contrasta con lo encontrado en esta investigación para el proveedor Linco (1996). De esto podemos recomendar usar dos sopladores para evitar el consumo de más agua y no afectar a la productividad; y reducir el consumo de energía eléctrica.

Para las variaciones de velocidad de producción se obtiene que a 8500 pollos/h, todos los tratamientos tienen niveles aceptables de calidad de  $1,83 \pm 0,75$  y para 9500 pollos/hora de  $1,78 \pm 0,58$ . De estos valores el mejor es el de 9500 pollos/h, pero cabe resaltar que tenemos que tener un balanceo de personal para el retiro adecuado de plumas y otras operaciones porque existe una capacidad límite del tanque de escaldado, la cual la estamos sobrepasando.

No debemos exigir una mayor calidad si incrementamos la velocidad de la línea de producción, tanto así que la velocidad de producción con la que es procesada altera el nivel del estrés del ave y de los colaboradores en la zona de colgado; a ello podemos sumarle otras anomalías que podrían repercutir en la resistencia en el aturdido por estar mal colgados; es decir que no están al nivel de la cadena, o ser colgados de una pata y cuando lleguen al escaldador encontrarse aves en el fondo del tanque, las cuales son retiradas al final del proceso por el personal de limpieza y llevadas a eliminación, repercutiendo en la rentabilidad de la empresa. Asimismo, Rodríguez (2011) concluye que las aves son la materia prima, por ello es que no se debe manipular la velocidad con brusquedad, y Cervantes & Sánchez (2009) consideran que la capacitación a todo

el personal que colabora y el reconocimiento por su labor son los elementos básicos para obtener canales de calidad.

Es de considerar que no estamos trabajando con lo recomendado por el manual del proveedor Linco (1996), y a pesar de ello los niveles son aceptables con las variaciones que hemos planteado, y esto es porque aún no se está exigiendo una calidad para los filetes embandejados y tampoco hay una norma peruana que valide y establezca los niveles de calidad en la pechuga.

La ubicación de los sopladores, la instalación de las tuberías de los sopladores, la cantidad, el tamaño propio de los agujeros de las tuberías para el chorro de aire, la limpieza de las tuberías, la distancia hacia el pollo, la dirección de salida del aire son aspectos de estudio que no se desarrollaron, pero sí sabemos que influyen en la causa del error sistemático de las pruebas experimentales.

De la figura 34, se observa que el factor temperatura presenta valores que difieren mucho más en la calidad, en tanto que en una temperatura de  $57^{\circ}\text{C}$  tiene una calidad en el proceso de escaldado de  $1,28 \pm 0,30$ , este es mucho mejor que para la temperatura más alta de  $59^{\circ}\text{C}$  donde arroja un valor de  $2,33 \pm 0,46$ , esto indica que estadísticamente presenta un efecto y es significativo con un nivel de confianza de 95%.

Estos rangos de temperatura presentados han sido especificados así en la empresa, razón por la cual la planta trabaja actualmente con un promedio de  $58,8 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , aunque se desconoce cabalmente los efectos en la calidad y merma. Por ello se predijo, en una interpolación con los datos obtenidos en el experimento, un valor de calidad de  $2,2 \pm 0,54$ , que es un nivel aceptable por ser un valor menor a 3, pero reiteramos que si el mercado exige una calidad para pechugas sin piel embandejadas con un valor menor a 2, se descartarían las pechugas sin piel por no cumplir con el nivel de calidad solicitado por el cliente.

### 5.3.2 Interacción de factores que influyen en el escaldado en la calidad de pechuga como de la merma

Para tener presente que la interacción que existe entre los factores y sus niveles elegidos con sus indicadores miden el estatus del proceso de escaldado.

#### - Variable Merma

Podemos observar de la interacción soplador y velocidad de producción, que la menor merma se obtiene para un solo soplador y la velocidad de producción nivel 2, es decir 9500 pollos/hora, y en la otra interacción temperatura y velocidad de producción se obtiene la menor merma con la mayor temperatura y velocidad de producción nivel 2.

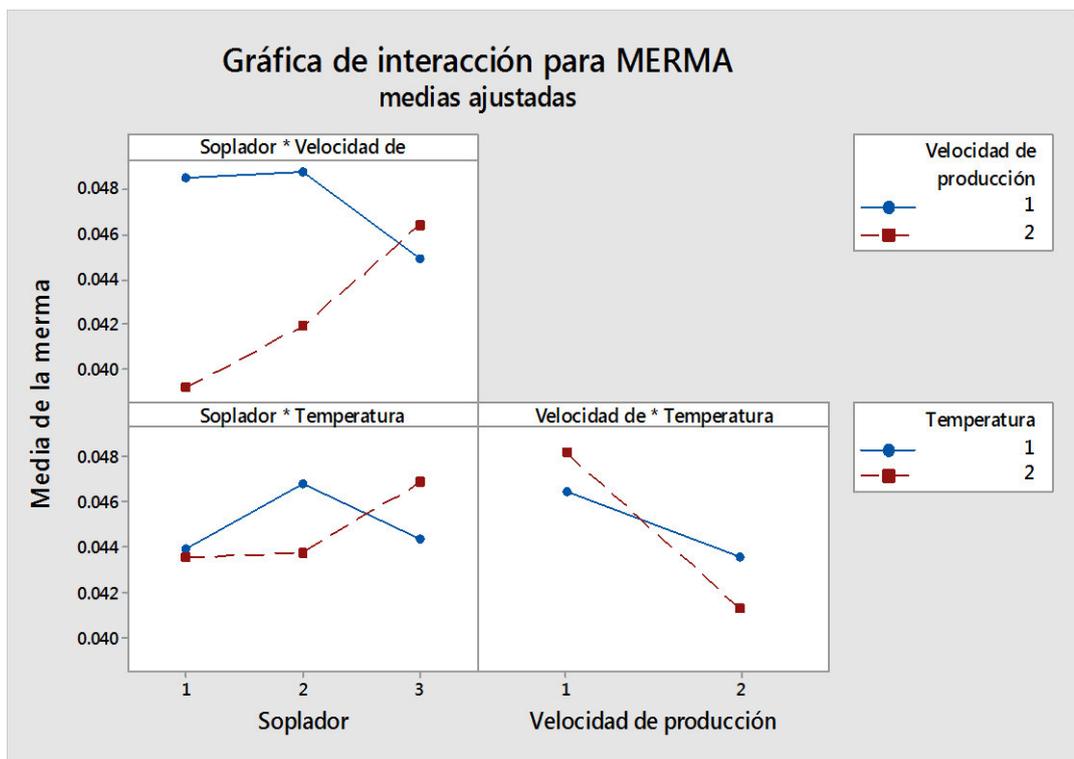
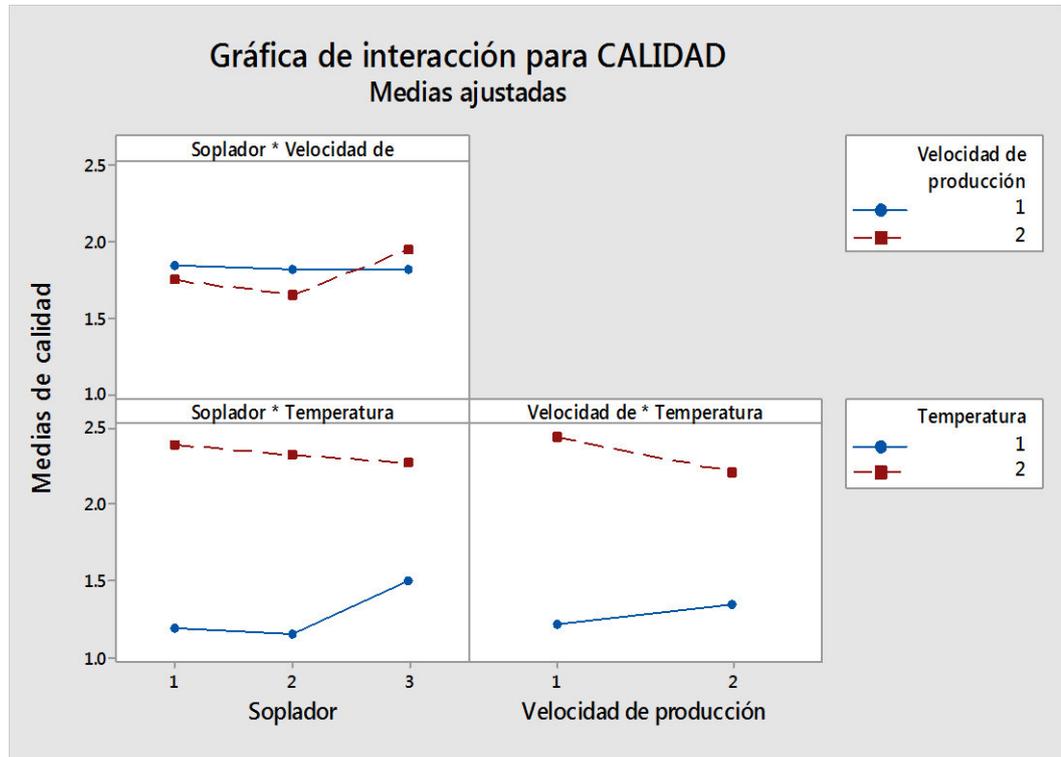


Figura 31. Interacción de los tres Factores vs. Merma

Al revisar la interacción con los tres factores, figura 31, se obtiene el tratamiento N° 5 y N°19 (un soplador, velocidad de producción de 9500 pollos/hora y temperatura de 57°C) que reportan un promedio en merma de 4,094%  $\pm$ 0,6% y una calidad de 1,2 $\pm$ 0.3. Esta parece ser la mejor combinación de los tres factores en el proceso.

Usualmente la productividad se mide en función a la velocidad de la cadena, lo cual es algo incierto porque en realidad lo que se debe medir es la velocidad de producción que asegure que van los ganchos llenos, dado que este factor es muy influyente en la merma.



**Figura 32. Interacción de los tres Factores vs. Calidad**

**- Variable Calidad**

De la figura 32, se observa una mayor interacción del uso de sopladores y la velocidad de producción con la temperatura, siendo los tratamientos (2, 13, 19, 24) con valor uno en su calidad, con uno y dos sopladores y valores de velocidad de producción mínimo y máximo, donde la merma es  $4,789\% \pm 0.007$ ;  $4,535 \pm 0.06$ ;  $4,570\% \pm 0.006$  y  $4,293 \pm 0.014$  respectivamente por cada tratamiento mencionado.

La selección de estos dos rangos de temperaturas se da porque sí queremos observar un efecto sobre nuestro proceso, se requiere que la temperatura esté por encima de la variabilidad aleatoria del controlador de temperatura y tener la fiabilidad de que se observará un cambio que no sea explicado por el factor temperatura y no por la

variabilidad aleatoria del controlador de temperatura; y por otro lado, Nunes (2012) menciona que 56°C es la temperatura mínima para retirar la epidermis.

Otro aspecto es la ubicación de las toberas de aire del soplador, estas no fueron las idóneas como lo recomienda el proveedor de la tecnología usada, porque en la posición que se presenta lo que existe es que el aire vaya directo al ave, haciendo que las plumas se cubran más y no permitiendo que llegue a la superficie de la epidermis, por ello que la dilatación es pobre si se enciende aún más sopladores. Lo que se propone es invertir el sistema que el autor Mead especifica en la figura 9, de esto se aprecia que la inyección de aire será más efectiva al ir en sentido contrario comparado con el sistema de inyección de aire actual; es decir, que choca la base del escaldador y agita el agua desde este punto, haciendo que el agua caiga de arriba, ocasionará que las plumas se abran. Podemos hacer la comparación de manera ilustrativa al de unas hojas de una planta; allí se puede apreciar que el agua cae sobre la superficie de la epidermis y pueda lograrse una buena dilatación de folículos.

### **5.3.3 Modelos de correlación y valores adecuados del tratamiento en la merma y la calidad de la pechuga en el proceso de escaldado**

#### **- Variable Merma**

La proporción de la variabilidad del coeficiente de determinación del modelo estadístico presentado en la ecuación 27 es de 25%, dicha magnitud de la relación explica que la diferencia de los residuos generan una nube ancha, indicando que el grado de relación entre las variables es muy baja, es decir y como ya se demostró en la tabla 23 solo un factor tiene significancia estadística, y es la velocidad de producción; por esta razón el modelo lineal que considera tres factores no tiene la representatividad correcta a los datos experimentales. También se debe considerar que la variable merma al depender de la velocidad de producción, esta dependencia no

necesariamente es lineal; pues podría ser del tipo polinómico. No obstante, lo dicho anteriormente, se establece que la correlación existente entre la velocidad de producción y la merma es de tipo negativa, esto es que aumentando la velocidad de producción disminuye la merma del proceso de pollos. De la ecuación 27 se indica que solo será válido este modelo lineal como un análisis cualitativo que explica, en función al signo.

$$\begin{aligned} \text{Merma} = & 0.0509 + 0.0009\text{soplador} - 0.0049 \text{ velocidad de producción} \quad (27) \\ & - 0.0003\text{temperatura} \end{aligned}$$

$$R^2 = 25,15\%$$

- **Variable Calidad**

El presente modelo estadístico tiene un coeficiente de determinación que indica que para solo el 67% de los datos, el modelo lineal de regresión explica la variabilidad de la calidad, esto pueda explicarse, en primer lugar, a que solo un factor tiene significancia estadística, que es la temperatura; por esta razón el modelo lineal que considera tres factores no tiene una mejor representatividad para los datos experimentales. También se debe considerar que la variable calidad, al depender solo de la variable temperatura, no necesariamente hace que esta dependencia sea lineal; pues podría ser del tipo polinómico. No obstante, lo dicho anteriormente, se establece que la correlación existente entre la temperatura y la calidad es de tipo negativa, esto es que aumentando la temperatura disminuye la calidad de la pechuga. De la ecuación 28 se infiere que solo será válido este modelo lineal como un análisis cualitativo que explica, en función al signo para el caso del factor estadísticamente significativo, que si se incrementa la temperatura disminuye la calidad de la pechuga de pollo.\* Recordar que el aumento del valor de la calidad significa, en realidad, que ésta está disminuyendo.

$$\begin{aligned} \text{Calidad} = & 0.221 + 0.044\text{soplador} - 0.050\text{velocidad de producción} & \mathbf{(28)} \\ & + 1.050\text{temperatura} \end{aligned}$$

$$R^2 = 66,88\%$$

*\*Debe entenderse así, pues es según el modelo lineal de la ecuación 28*

## 6. CONCLUSIONES

- De los tres factores analizados, se establece que solo el factor velocidad de producción, con los valores trabajados de 8500 y 9500 pollos/hora, influye significativamente en la merma, según el criterio estadístico con un valor  $p$  de 0.029. Mientras más rápido pase el pollo por el agua de escaldado se evita que se disuelva la grasa pectoral en el agua caliente, aumentando, de este modo, el rendimiento del pollo procesado, y todo lo contrario mientras más lento pase el pollo por el agua caliente.
- Los otros dos factores, los sopladores de aire y temperatura, no tienen influencia sobre el rendimiento del proceso de escaldado. El factor temperatura no es significativo, con un valor  $p$  mayor que 0.05, porque no se tiene la uniformidad de la temperatura en el agua de escaldado y esta variabilidad es tan importante como evaluar el efecto de la temperatura del escaldador al cambiarlo en 2 grados centígrados. En el caso de los sopladores, el realizar modificaciones internamente como la tubería que lleva el flujo de aire, sin previo análisis, y no asegurar una buena limpieza de los orificios de salidas, no tiene efecto en el rendimiento, corroborado estadísticamente con un valor  $p$  mayor a 0.05 para un nivel de confianza del 95%.
- Los valores elegidos en la variable temperatura en 57 y 59°C, han sido significativas, con un valor  $p$  de 0.000; y, por tanto, la temperatura influye directamente sobre la medición del grado de escaldado de la pechuga. Bajo estas condiciones y con el criterio de la tabla de valorización se tendrá una marcada diferencia en la calidad si no se manejan adecuadamente las temperaturas.
- El efecto de la velocidad de producción no ha sido significativo, con un valor  $p$  mayor que 0.05 y, por tanto, no influye directamente sobre el grado de escaldado

de la pechuga, porque al tener un rango de tiempo cuyos valores están aún por debajo de lo recomendado, no afectará la calidad en el color de la pechuga.

- En el caso del factor soplador, este no ha sido significativo, con un  $p$  valor mayor que 0.05, y por tanto no influye directamente sobre la calidad del grado de escaldado de la pechuga, puesto que usando 1, 2 o 3 tres sopladores la turbulencia no será modificada significativamente, dado que por el diseño del equipo se disponían de dos sopladores y una se implementó de manera empírica, ocasionando que no exista diferencia entre usar uno o más sopladores; por lo cual esto no beneficia ni deteriora la calidad del color de la pechuga significativamente.
- De los modelos de la ecuación de correlación se concluye que solo la velocidad de producción tiene influencia negativa en la merma; así mismo el incremento de la temperatura se correlaciona de manera negativa con la calidad de la pechuga, con coeficientes de correlación muy variables; la misma que se explica por los errores sistemáticos asignados a la sobrecapacidad de procesamiento, inadecuado control de temperatura y el empirismo en la mejora del equipo; sin embargo, aún con estas condiciones los valores obtenidos son aceptables para la planta, según los estándares de SENASA de Costa Rica y la Asociación de INVIMA de Colombia, al no disponerse de estándares nacionales.
- Del diagnóstico efectuado a la planta se establece, de acuerdo al diagrama de operaciones de proceso, que el tiempo requerido por cada actividad de operación es marcado por la velocidad de la cadena, y ésta está supeditada al proceso de escaldado. El incremento de la velocidad de la cadena del proceso genera que se aumente la temperatura de escaldado.
- Del diagnóstico situacional se determina que los controles de operación, como en el caso de la temperatura del agua de escaldado no es eficiente, pues no es

uniforme la temperatura en todos sus puntos. Y la capacidad del tanque de escaldado operativa supera en un 43% al límite impuesto por el fabricante; y el colocar sopladores para reforzar la turbulencia en el equipo, de manera empírica y sin considerar el diseño original, no mejora la turbulencia.

- El impreciso control del nivel y temperatura de agua hace que estos factores, soplador de aire y temperatura, no tengan el suficiente efecto como para diferenciarse del error aleatorio inherente al sistema experimental.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Instalar equipos instrumentales ópticos para realizar el control de la calidad del color de la pechuga, de manera que se correlacione con el método desarrollado en esta investigación y así disponer de métodos económicos y rápidos para el control de la calidad del color de la pechuga de pollo.
- En la medida que, si no se moderniza con nuevos equipos para el procesamiento, se recomienda implementar sistemas complementarios que controlen adecuadamente la temperatura y la turbulencia del agua de escaldado de pollo.
- Implementar una planta a escala piloto para que se puedan realizar pruebas en el proceso de escaldado con mayor libertad de maniobra y así se puedan establecer mejoras, y sin afectar el proceso productivo de la empresa.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Barbut, S. (2002). *Poultry Product Processing: An Industry Guide*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Beavers, D. (2013). Maximizar el rendimiento: Clave para lograr mayores retornos. *Tecnico Focus*, 8.
- Buhr, R; Walker, J; Bourassa, D; Caudill A; Kiepper, B; Zhuang, H. (2014). *Poultry Science* . Obtenido de Impact of broiler processing scalding and chilling profiles on carcass and breast meat yield: <http://ps.oxfordjournals.org/content/93/6/1534.full>
- Cadena, S. (2013). Pollo: Microcriaderos Intensivos. En E. Valencia, & P. López, *Validación Productiva de Dietas para la Alimentación* (pág. 4). Ecuador: Universidad de Las Fuerzas Armadas - Espe.
- Cattaruzzi. (2016). *Especificaciones Tecnicas de Tanque Escaldador*. Obtenido de [http://www.cattaruzzi.com/es/SRA\\_2\\_VIAS](http://www.cattaruzzi.com/es/SRA_2_VIAS)
- Cervantes, E. (2010). *El Sitio Avícola*. Obtenido de Interrelaciones operacionales en la planta de procesamiento: <http://www.elsitioavicola.com/articles/1750/interrelaciones-operacionales-en-la-planta-de-procesamiento/>
- Cervantes, E., & Sánchez, M. (2009). Procesamiento de Pollos. En E. Cervantes, & M. Sánchez, *Aspectos que afectan la calidad, inocuidad y el rendimiento* (págs. 166-180). Colombia: Ediciones Artes Gráficas Industriales.

- Diario Gestión. (15 de Julio de 2014). *El pollo representa el 53% del consumo total de carnes en el Perú*. Obtenido de <http://gestion.pe/economia/pollo-representa-53-consumo-total-carnes-peru-2102934>.
- Dickens, J., Buhr, R., & Cason, J. (1999). *Subcutaneous Temperature Profile, Skin Appearance, and Picking*. USDA, ARS, SAA: Poultry Processing and Meat Quality Research Unit, Russell Research Center.
- Duran, L. (2014). *Tecnología aplicada en la producción avícola*. Obtenido de <http://elbuscadordeciencialuis.blogspot.pe/2014/07/tecnologia-aplicada-en-la-produccion.html>
- España, P., & López, S. (2013). *Validación Productiva de Dietas para la alimentación de Pollos Broiler en el Cantón Santo Domingo*. Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas , Santo Domingo.
- FAO. (2015). *Carne y Productos Cárnicos*. Obtenido de Composición de la carne: [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)
- FAO. (s.f). *Food and Agriculture Organization of the United Stations*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-au131e.pdf>
- Fernandez, J., Sendra, E., & Sayas, E. (2002). Slaughtering Equipment and operations. En I. Guerrero, & Y. Hui, *Handbook of Poultry Science an Technology* (págs. 95-97). New Jersey: Jhon Willey & Sons, Inc.
- Fletcher, L. (2002). Poultry meat quality. En *World's Poultry Science Journal* (págs. 131-141). Georgia-Athens: University od Georgia.
- Forest, J., Aberle, E., Hedrich, H. D., & Merkel, R. (2001). *Fundamentos de la ciencia de la carne*. España: Zaragoza.

- Gil, F. (2010). *Aspectos Funcionales y Clínicos*. Obtenido de Anatomía Específica de Aves:  
<http://www.um.es/anatvet/interactividad/aaves/anatomia%20de%20las%20aves.pdf>
- Grupo Aviagen. (2016). *Ross*. Obtenido de Productos Ross: <http://es.aviagen.com/ross/>
- Guerrero Legarreta , I., & Hui, Y. H. (2010). Handbook of poultry and Science and technology.
- Guerrero Legarreta, I., & Hui , Y. (2010). Slaughtering Equipment and Operations. En I. Guerrero Legarreta, & Y. H. Hui, *Handbook of Poultry and Science and Technology* (págs. 80-87). Canadá: John Wiley & Sons , Inc .
- Irshad, A., & Arun, T. (2013). *Scalding and Its Significance in Livestock Slaughter and Wholesome Meat Production*. India: International Journal of Livestock Research.
- Jiménez, R. (2012). *Estadística Inferencial II*. Ensenada: Instituto Tecnológico Ensenada.
- Kindersley, P. (2008). *Avicultura.com*. Obtenido de Nuevo Proceso de Escaldado reducirá la contaminación con *Campylobacter* en la carne de Pollo: [www.avicultura.com](http://www.avicultura.com)
- Linco, P. (1996). *Dinamarca Patente n° 12101000.011*.
- López, K. (2014). *Automatización de un tanque escaldador de pollos para la empresa "Aviflores Puglla"*. Tesis de Pregrado: Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- MAG - N° 37458 . (2013). *Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica*. Obtenido de Reglamento Sanitario y de Inspección Veterinaria de Establecimientos de sacrificio y procesadores de aves:  
<http://www.mag.go.cr/legislacion/2013/de-37548.pdf>

MAGRAMA. (2006). *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*

Obtenido de Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Matadero y de los Transformados de Pollo y Gallina:  
[http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/Gu%C3%ADa\\_MTD\\_en\\_Espa%C3%B1a\\_Transformado\\_pollo\\_y\\_gallina\\_tcm7-8219.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/Gu%C3%ADa_MTD_en_Espa%C3%B1a_Transformado_pollo_y_gallina_tcm7-8219.pdf)

Mcke, L., Cobb, E., & Padilla, S. (2012). Quality Indicators in Poultry Products . En N. Leo M. L, *Handbook of meat, Poultry and Seafood Quality* (pág. 390). Willey-Blackwell.

Mead, C. (2004). Primary processing poultry. En C. Mead G, *Poultry meat processing and quality and CRC press LCC* (págs. 97-98). Boca Raton: Woodhead Publishing Limited.

Montgomery, D. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos*. Mexico: Limusa Wiley.

Muñoz, D., Díaz, N. C., & Cabrera, G. (2011). Efecto de la temperatura y velocidad de la línea de colgado, en el porcentaje de pluma y despigmentación de aves blanca y campesina, durante el proceso de escaldado. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 69.76.

NTP 201 054. (2001). *Carne y Productos Cárnicos. Aves para consumo. Definiciones, requisitos y clasificación de las carcasas y carne de pollo, gallinas, gallos, pavos, y gansos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/36905714/Aves-Para-Consumo>

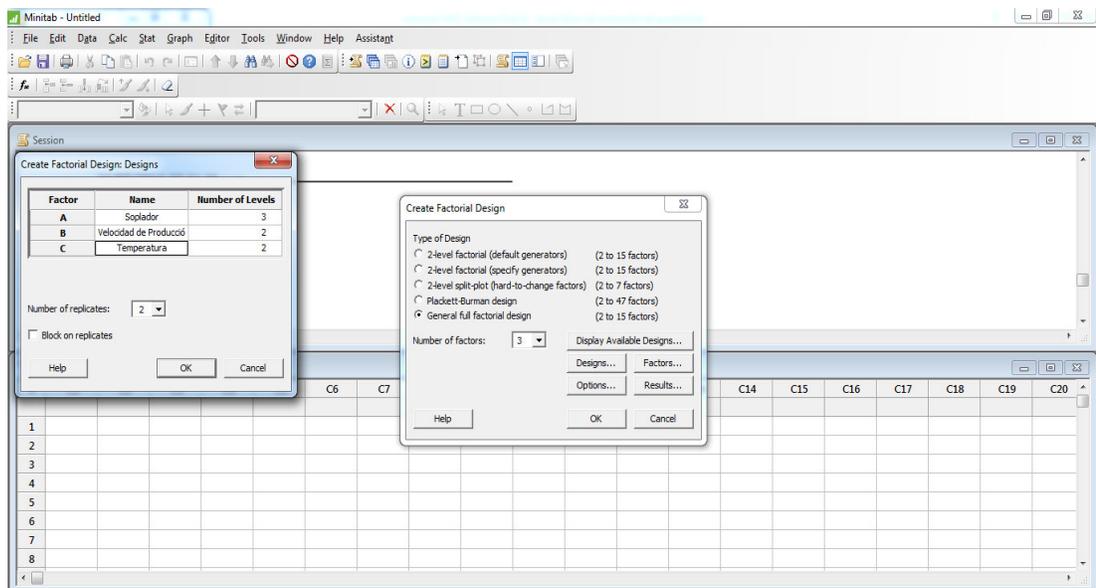
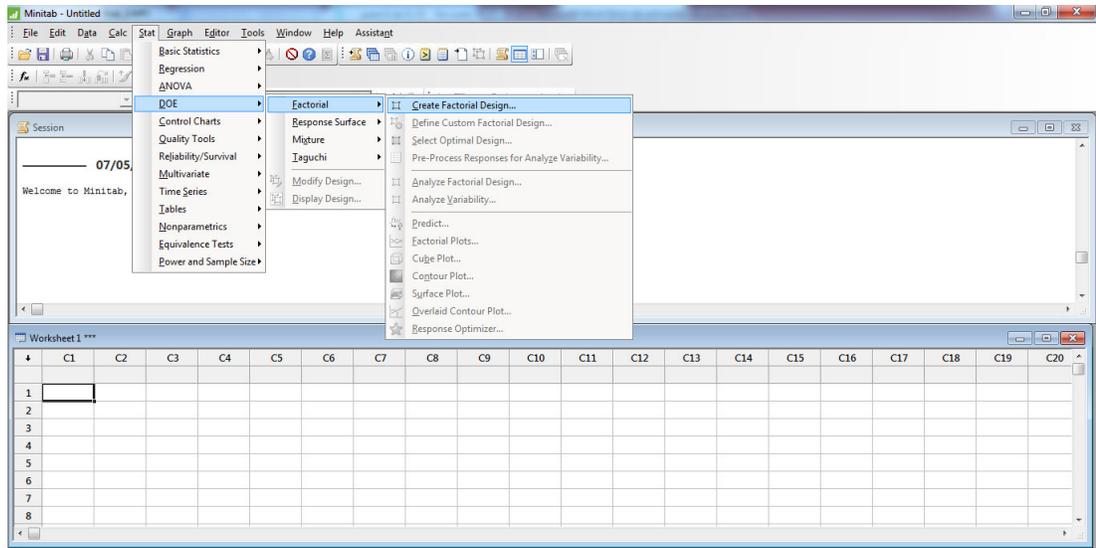
Nunes, F. (2012). Mejor calidad en el escaldado y desplumado en aves. *Carnetec*, 4. Obtenido de <http://www.carnetec.com/Industry/TechnicalArticles/Details/28050>

- Nunez, F. (2008). *El ABC del escaldado y Desplumado*. Obtenido de Avicultura :  
<http://www.engormix.com/MA-avicultura/industria-carnica/articulos/abc-escaldado-desplumado-t1913/471-p0.htm>
- Nunez, F. (2015). *Implicaciones de aumentar la velocidad de la línea en el procesamiento de aves*. Obtenido de El Sitio Avícola:  
<http://www.elsitioavicola.com/articles/2783/implicaciones-de-aumentar-la-velocidad-de-la-lanea-en-el-procesamiento-de-aves/>
- Osgood, C., Suci, G., & Tannenbaum, P. (2002). El Diferencial Semántico de Osgood. En M. I. Barbero, *Psicometría II, Métodos de Elaboración de Escalas* (págs. 383-393). Madrid: NED. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Palacio, D. (2007). República de Colombia - Resolución N° 4287. *Ministerio de la Protección Social*, págs. 13-14.
- Parry, R. (1996). Scalding and Defeathering. En G. C. Mead, *Processing of Poultry* (págs. 81-83). London: Chapman & Hall.
- Plaza, E. (2013). Estudio de la Actualización de mermas de producto paara mejorar la rentabilidad de alimentos de Lacali S.A. En *Universidad Autonoma de Occidente* (pág. 45). Santiago de Cali, Colombia: Tesis de Grado - Ingeniero Industrial.
- Qiao, M., Fletcher, D., Smith, D., & Northcutt, J. (2001). *The Effect of Broiler Breast Meat Color on pH, Moisture, Water-Holding Capacity, and Emulsification Capacity*. Obtenido de Poultry Science:  
<http://ps.oxfordjournals.org/content/80/5/676.full.pdf>
- Ricaurte Galindo, S. (2005). Problemas del pollo de engorde antes y despues del beneficio - pollo en canal. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, 1-16.

- Ricaurte, S. L. (2005). Problemas del pollo de engorde antes y después del beneficio del pollo canal. *Revista Electronica de Veterinaria REDVET*, 6(6), 1-16.
- Rodriguez, D. (2011). La carne de Pollo (Procesamiento). En J. Quintana López, *AVITECNIA manejo de las aves domésticas más comunes* (págs. 7-15). Bogotá: Trillas.
- Rusell, S. (2011). Temperatura y pH adecuados en escaldadores de ave rinden excelente calidad sanitaria y más rendimiento. *Agromeat*, s.p.
- Sagastibelza, L. (1990). Control de calidad en mataderos avícolas. *Mundo Ganadero*, 46-52.
- Sams, A. R., & McKee R, S. (2001). First Processing: Slaughter Through Chilling. En A. R. Sams, C. Alvarado Z., & C. M. Owens, *Poultry Meat Processing* (págs. 30-31). London: Taylor & Francis Group.
- SENASA. (2013). *Dirección de Inocuidad de Productos de Origen Animal*. Obtenido de Criterios técnicos para el decomiso de estados patológicos en aves: <http://www.senasa.go.cr/senasa/sitio/files/210813035122.pdf>
- Siqueiros, A. (2004). *Aplicación de la Metodología de Superficies de Respuesta para el mejoramiento de la calidad de Soya*. Hermosillo, Sonora - Mexico: Universidad de Sonora, para optar el Grado como Licenciado en Matemáticas.
- Stal, P. (2006). El sistema de escaldado en tanques multiples o sucesivos. En B. Moreno Garcia, *Higiene e Inspeccion de Carnes-I* (págs. 382-383). España: Edigrafos.
- Vickie, V. (2002). Proteína en los alimentos. En V. A. Vaclavik, *Fundamentos de Ciencia de los Alimentos* (pág. 143). Zaragoza: Acribia Editorial.
- Ziolecky, J. (1987). Incremento de los rendimientos en la fase del sacrificio del broiler. *Revista de Avicultura*, 138-140.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Secuencia operacional del uso de Minitab para el diseño de experimentos (DOE)



Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Session

Welcome to Minitab, press F1 for help.

**Multilevel Factorial Design**

Factors: 3 Replicates: 2  
 Base runs: 12 Total runs: 24  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 3, 2, 2

Worksheet1 \*\*\*

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
↓	StdOrder	RunOrder	PTtype	Blocks	Soplador	Flujo Másico	Temperatura	Merma	Calidad										
1	22	1	1	1	3	1	1												
2	5	2	1	1	1	1	1												
3	11	3	1	1	2	1	2												
4	7	4	1	1	3	2	1												
5	13	5	1	1	1	2	1												
6	10	6	1	1	3	2	1												
7	17	7	1	1	3	1	2												
8	9	8	1	1	1	2	2												
9	4	9	1	1	3	1	2												

Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Session

Welcome to Minitab, press F1 for help.

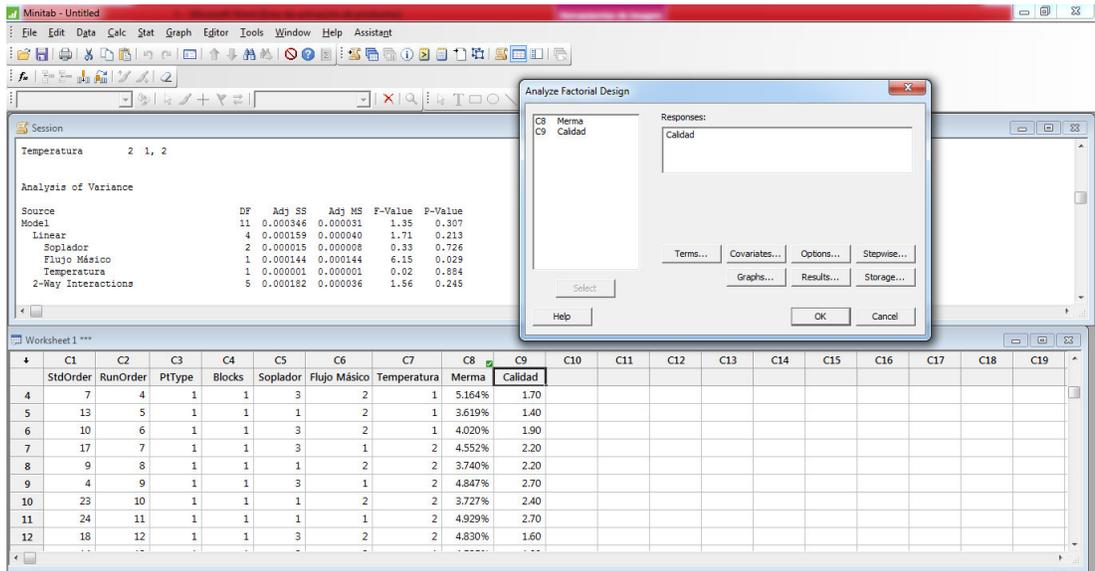
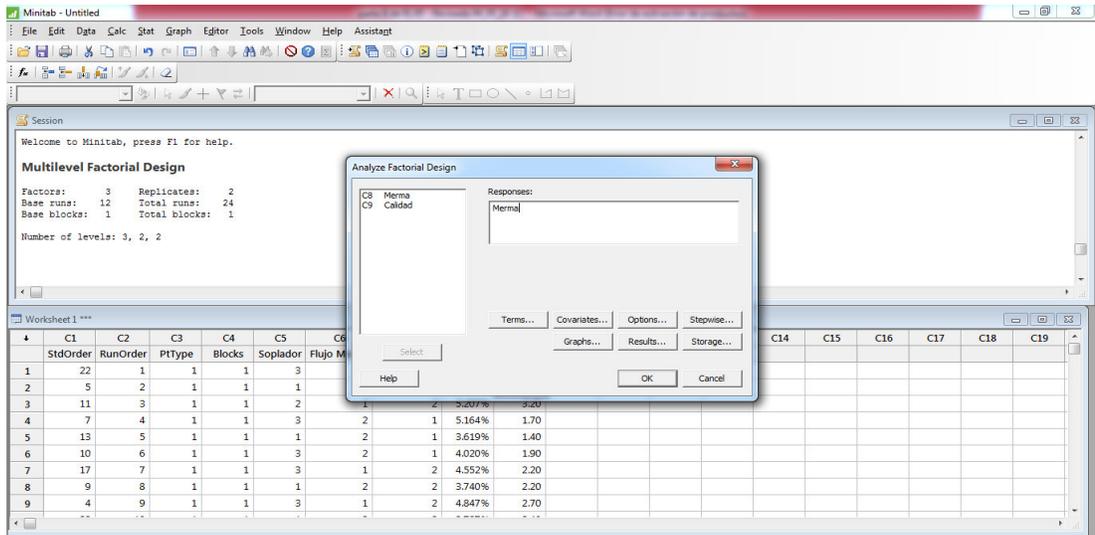
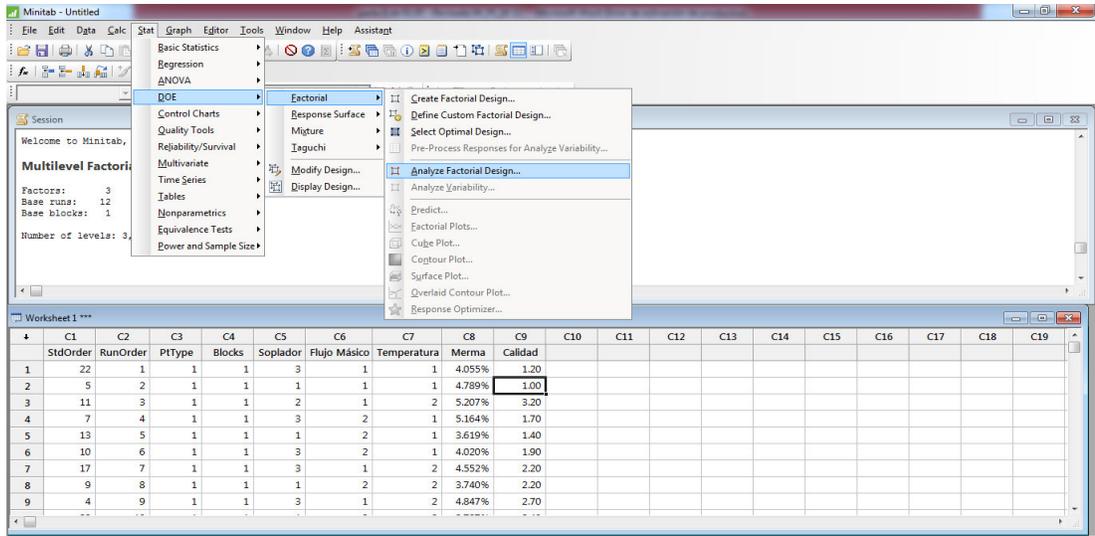
**Multilevel Factorial Design**

Factors: 3 Replicates: 2  
 Base runs: 12 Total runs: 24  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 3, 2, 2

Worksheet1 \*\*\*

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
↓	StdOrder	RunOrder	PTtype	Blocks	Soplador	Flujo Másico	Temperatura	Merma	Calidad										
1	22	1	1	1	3	1	1	4.055%	1.20										
2	5	2	1	1	1	1	1	4.789%	1.00										
3	11	3	1	1	2	1	2	5.207%	3.20										
4	7	4	1	1	3	2	1	5.164%	1.70										
5	13	5	1	1	1	2	1	3.619%	1.40										
6	10	6	1	1	3	2	1	4.020%	1.90										
7	17	7	1	1	3	1	2	4.552%	2.20										
8	9	8	1	1	1	2	2	3.740%	2.20										
9	4	9	1	1	3	1	2	4.847%	2.70										



## Anexo 2. Resultados del diseño de experimentos (DOE) usando Minitab para la merma y calidad

Minitab - informe final\_OMPJ

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

General Factorial Regression: merma versus soplador, flujo másico, temperatura

Factor Information

Factor	Levels	Values
soplador	3	1, 2, 3
flujo másico	2	1, 2
temperatura	2	1, 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	0.000346	0.000031	1.35	0.307
Linear	4	0.000159	0.000040	1.71	0.213
soplador	2	0.000015	0.000008	0.33	0.726
flujo másico	1	0.000144	0.000144	6.15	0.029
temperatura	1	0.000001	0.000001	0.02	0.884
2-Way Interactions	5	0.000182	0.000036	1.56	0.245
soplador*flujo másico	2	0.000128	0.000064	2.73	0.105
soplador*temperatura	2	0.000031	0.000015	0.66	0.534
flujo másico*temperatura	1	0.000023	0.000023	1.00	0.336
3-Way Interactions	2	0.000005	0.000002	0.10	0.904
soplador*flujo másico*temperatura	2	0.000005	0.000002	0.10	0.904
Error	12	0.000280	0.000023		
Total	23	0.000626			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0048314	55.27%	14.27%	0.00%

Minitab - informe final\_OMPJ

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

General Factorial Regression: calidad versus soplador, flujo másico, temperatura

Factor Information

Factor	Levels	Values
soplador	3	1, 2, 3
flujo másico	2	1, 2
temperatura	2	1, 2

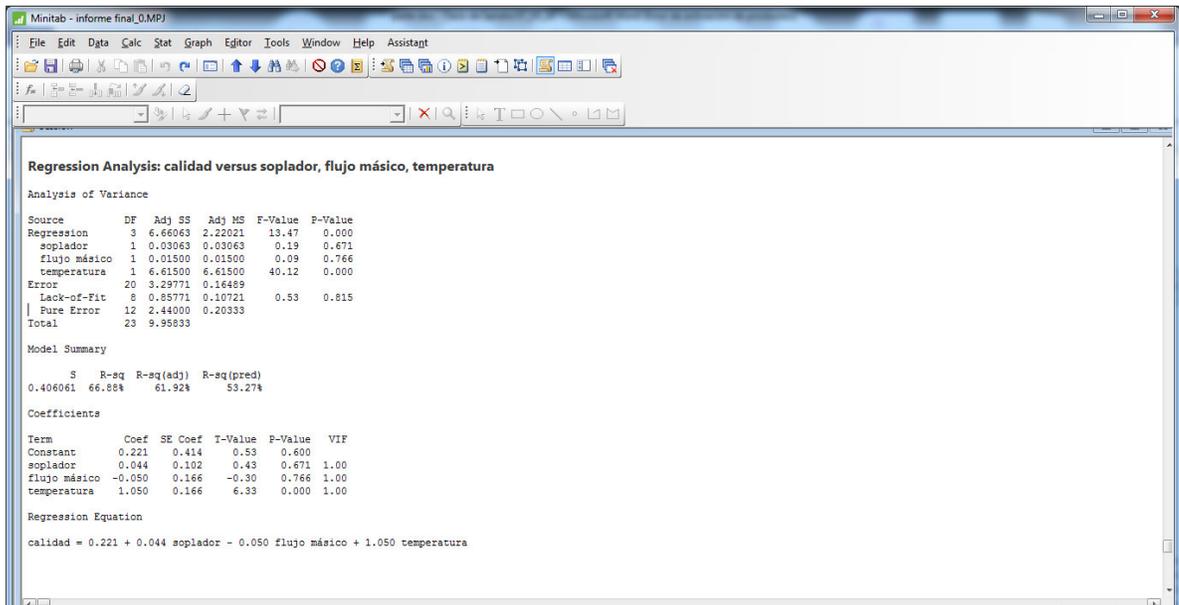
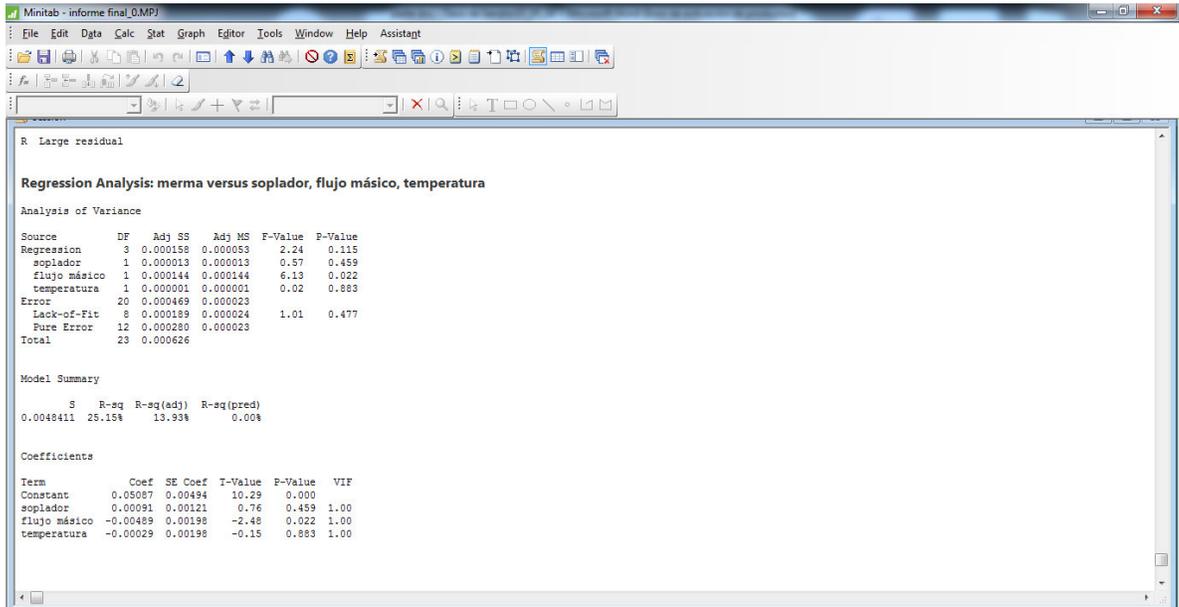
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	7.51833	0.68348	3.36	0.024
Linear	4	6.72083	1.68021	8.26	0.002
soplador	2	0.09083	0.04542	0.22	0.803
flujo másico	1	0.01500	0.01500	0.07	0.791
temperatura	1	6.61500	6.61500	32.53	0.000
2-Way Interactions	5	0.52667	0.10533	0.52	0.758
soplador*flujo másico	2	0.09750	0.04875	0.24	0.791
soplador*temperatura	2	0.22750	0.11375	0.56	0.586
flujo másico*temperatura	1	0.20167	0.20167	0.99	0.339
3-Way Interactions	2	0.27083	0.13542	0.67	0.532
soplador*flujo másico*temperatura	2	0.27083	0.13542	0.67	0.532
Error	12	2.44000	0.20333		
Total	23	9.95833			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.450925	75.50%	53.04%	1.99%

### Anexo 3. Resultados de ecuación de Regresión usando Minitab para la merma y calidad



**Anexo 4. Imágenes de la evaluación de la calidad de la pechuga de pollo**

**Tratamiento 1**

Valor	1	2	3	4
Puntaje	9	0	1	0
Valoración	1.2			

FOTO	Valoración Numérica	FOTO	Valoración Numérica
	1		1
	1		1
	1		1
	3		1
	1		1

## Tratamiento 2

Valor	1	2	3	4
Puntaje	10	0	0	0
Valoración	1			

FOTO	Valoración Numérica	FOTO	Valoración Numérica
	1		1
	1		1
	1		1
	1		1
	1		1

**Anexo 5. Construcción de las tablas de análisis de varianza (ANOVA)**

- Cálculos para construir la Tabla 23 de ANOVA para la merma

**Tabla 25. Suma de niveles de las variables para la merma**

Soplador	Velocidad de Producción								y <sub>i..</sub>
	1				2				
	Temperatura				Temperatura				
	1		2		1		2		
1	4.8%	9.4%	4.9%	10.0%	3.6%	8.2%	3.7%	7.5%	35.0%
	4.6%		5.0%		4.6%		3.7%		
2	5.6%	9.9%	5.2%	9.6%	4.5%	8.8%	3.7%	8.0%	36.3%
	4.3%		4.3%		4.3%		4.3%		
3	4.1%	8.6%	4.6%	9.4%	5.2%	9.2%	4.8%	9.4%	36.5%
	4.5%		4.8%		4.0%		4.5%		
Y <sub>..k</sub>		27.9%		28.9%		26.2%		24.8%	107.8%
Y <sub>.j.</sub>	56.8%				51.0%				

Luego se utilizan las siguientes fórmulas para evaluar las cantidades requeridas.

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{Y^2 \dots}{N}$$

$$\begin{aligned}
 SC_T = & 4.8^2 + 4.6^2 + 5.6^2 + 4.3^2 + 4.1^2 + 4.5^2 + 4.9^2 + 5.0^2 + 5.2^2 + 4.3^2 \\
 & + 4.6^2 + 4.8^2 + 3.6^2 + 4.6^2 + 4.5^2 + 4.3^2 \\
 & + 5.2^2 + 4.0^2 + 3.7^2 + 3.7^2 + 3.7^2 + 4.3^2 + 4.8^2 + 4.5^2 - \frac{(107.8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}
 \end{aligned}$$

Transformado de porcentaje a número es:

$$SC_T = 0.0006262$$

Suma de cuadrados de A

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bcn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$C_A = \frac{35.6^2 + 36.3^2 + 36.5^2}{2 \times 2 \times 2} - \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_A = 0.0000153$$

Suma de cuadrados de B

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{j...}^2}{acn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SC_B = \frac{56.8^2 + 51.6^2}{3 \times 2 \times 2} - \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_B = 0.0001436$$

Suma de cuadrados de C

$$SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{...k..}^2}{abn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SC_C = \frac{(27.9 + 26.2)^2 + (28.9 + 24.8)^2}{3 \times 2 \times 2} - \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_C = 0.0000005$$

Suma de cuadrados de AB

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij...}^2}{cn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B$$

$SC_{AB}$

$$= \frac{(9.4 + 10.0)^2 + (9.9 + 9.6)^2 + (8.6 + 9.4)^2 + (8.2 + 7.5)^2 + (8.8 + 8.0)^2 + (9.2 + 9.4)^2}{2 \times 2}$$

$$- \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.00153^2 - 0.01436^2$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_{AB} = 0.0001276$$

Suma de cuadrados de AC

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ik...}^2}{bn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_C$$

$SC_{AC}$

$$= \frac{(9.4 + 8.2)^2 + (9.9 + 8.8)^2 + (8.6 + 9.2)^2 + (10.0 + 7.5)^2 + (9.6 + 8.0)^2 + (9.4 + 9.4)^2}{2 \times 2}$$

$$= \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.00153^2 - 0.000052^2$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_{AC} = 0.0000309$$

Suma de cuadrados de BC

$$SC_{BC} = \sum_{i=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{jk...}^2}{an} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_C$$

$$SC_{BC} = \frac{27.9^2 + 26.2^2 + 28.9^2 + 24.8^2}{3 \times 2} - \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.001532 - 0.000052$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_{BC} = 0.0000234$$

Suma de cuadrados de ABC

$$SC_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ijk...}^2}{n} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}$$

$$C_{ABC} = \frac{9.4^2 + 10.0^2 + 9.9^2 + 9.6^2 + 8.6^2 + 9.4^2 + 8.2^2 + 7.5^2 + 8.8^2 + 8.0^2 + 9.2^2 + 9.4^2}{2}$$

$$= \frac{(107,8^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.00153^2 - 0.01436^2 - 0.000052^2 - 0.012757^2 - 0.003090^2$$

$$- 0.002342^2$$

Transformando de porcentaje a número

$$SC_{ABC} = 0.0000048$$

Al restar éstas del total, la suma de cuadrados del error resulta ser:

$$SCE = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

$$SCE = 0.0006262 - 0.0000153 - 0.0001436 - 0.0000005 - 0.0001276$$

$$- 0.0000309 - 0.0000234 - 0.0000048$$

$$SCE = 0.0002801$$

- Promedio de Cuadrados:

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

Reemplazando

$$CM_A = \frac{0.000015}{2} = 0.000008$$

Y así sucesivamente hasta el promedio de cuadrados del error.

- Calculo de  $F_0$

$$F_0 = \frac{CM_A}{CM_{Error}}$$

Reemplazando

$$F_0^A = \frac{0.000008}{0.000023} = 0.33$$

Y así sucesivamente hasta obtener el estimador de los tres factores (ABC).

Comparando el  $F$  calculado con el  $F$  de las tablas ubicadas en el anexo 7 o también calculadas en Excel, con un  $\alpha$  convencional de 0,05.

Seguido se construye la Tabla 23 de ANOVA para la merma con las variables soplador, velocidad de producción de pollo y temperatura.

- **Cálculos para construir la Tabla 24 de ANOVA para la calidad de la pechuga en el proceso de escaldado**

**Tabla 26. Suma de niveles de las variables para la calidad**

Soplador	Velocidad de Producción								$y_{i..}$
	1				2				
	Temperatura				Temperatura				
	1		2		1		2		
1	1.00	2.40	2.70	5.00	1.40	2.40	2.20	4.60	14.40
	1.40		2.30		1.00		2.40		
2	1.50	2.50	3.20	4.80	1.00	2.10	2.00	4.50	13.90
	1.00		1.60		1.10		2.50		
3	1.20	2.40	2.20	4.90	1.70	3.60	1.60	4.20	15.10
	1.20		2.70		1.90		2.60		
$y_{.k.}$		7.30		14.70		8.10		13.30	43.40
$y_{.j..}$	22.00				21.40				

Luego se aplican las siguientes fórmulas:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{Y^2 \dots}{N}$$

$$SC_T = 1.0^2 + 1.4^2 + 1.5^2 + 1.0^2 + 1.2^2 + 1.2^2 + 2.7^2 + 2.3^2 + 3.2^2 + 1.6^2 + 2.2^2$$

$$+ 2.7^2 + 1.4^2 + 1.0^2 + 1.0^2 + 1.1^2$$

$$+ 1.7^2 + 1.9^2 + 2.2^2 + 2.4^2 + 2.0^2 + 2.5^2 + 1.6^2 + 2.6^2 - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

Transformado de porcentaje a número es: 9.9583333

$$SC_T = 9.958333$$

Suma de cuadrados de A

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i...}^2}{bcn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SC_A = \frac{14.4^2 + 13.9^2 + 15.1^2}{2 \times 2 \times 2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

$$SC_A = 0.0908333$$

Suma de cuadrados de B

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j...}^2}{acn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SC_B = \frac{22.0^2 + 21.4^2}{3 \times 2 \times 2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

$$SC_B = 0.0150000$$

Suma de cuadrados de C

$$SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{...k..}^2}{abn} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SC_C = \frac{(7.3 + 8.1 + (14.7 + 13.3)^2)}{3 \times 2 \times 2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2}$$

$$SC_C = 6.61500$$

Suma de cuadrados de AB

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij...}^2}{cn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B$$

$SC_{AB}$

$$= \frac{(2.4 + 5.0)^2 + (2.5 + 4.8)^2 + (2.4 + 4.9)^2 + (2.4 + 4.6)^2 + (2.1 + 4.5)^2 + (3.6 + 4.2)^2}{2 \times 2}$$

$$- \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.0908333^2 - 0.0150000^2$$

$$C_{AB} = 0.097500$$

Suma de cuadrados de AC

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ik...}^2}{bn} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_C$$

$SC_{AC}$

$$= \frac{(2.4 + 2.4)^2 + (2.5 + 2.1)^2 + (2.4 + 3.6)^2 + (5.0 + 4.6)^2 + (4.8 + 4.5)^2 + (4.9 + 4.2)^2}{2 \times 2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.0908333^2 - 6.61500^2$$

$$SC_{AC} = 0.227500$$

Suma de cuadrados de BC

$$SC_{BC} = \sum_{i=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{jk...}^2}{an} - \frac{Y^2}{N} - SC_B - SC_C$$

$$SC_{BC} = \frac{7.3^2 + 8.1^2 + 14.7^2 + 13.3^2}{3 \times 2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.015000 - 6.6150000$$

$$SC_{BC} = 0.2016667$$

$$SC_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ijk...}^2}{n} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}$$

Suma de cuadrados de ABC

$SC_{ABC}$

$$= \frac{2.4^2 + 5.0^2 + 2.4^2 + 4.6^2 + 2.5^2 + 4.8^2 + 2.1^2 + 4.5^2 + 2.4^2 + 4.9^2 + 3.6^2 + 4.2^2}{2} - \frac{(43.4^2)}{3 \times 2 \times 2 \times 2} - 0.0908333^2 - 0.015000^2 - 6.6150000^2 - 0.0975000^2 - 0.2275000^2 - 0.2016667^2$$

$$SC_{ABC} = 0.2708333$$

Al restar éstas del total, la suma de cuadrados del error resulta ser

$$SCE = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

$$\begin{aligned} SCE &= 9.9583333 - 0.0908333 - 0.0150000 - 6.6150000 - 0.0975000 \\ &\quad - 0.2275000 - 0.2016667 - 0.27083333 \\ SCE &= 2.4400000 \end{aligned}$$

- Promedio de Cuadrados:

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

Reemplazando

$$CM_A = \frac{0.0908333}{2} = 0.045417$$

Y así sucesivamente hasta obtener el promedio de cuadrados del error

- Calculo de  $F_0$

$$F_0 = \frac{CM_A}{CM_{Error}}$$

Reemplazando

$$F_0^A = \frac{0.045417}{0.20333} = 0.22$$

Y así sucesivamente hasta obtener el estimador de los tres factores ( $ABC$ ).

$$F_0^{ABC} = \frac{0.135417}{0.20333} = 0.67$$

Comparando el  $F$  crítico con el  $F$  teórico de tablas ubicadas en el anexo 7 o también calculadas en Excel, con un  $\alpha$  convencional de 0,05, seguido se construye la Tabla 24 de ANOVA.

## Anexo 6. Pruebas de Normalidad de ANOVA

Antes de realizar el análisis del diseño factorial, el análisis de varianza exige que se tenga que cumplir con los supuestos de normalidad que garantice que la muestra de los residuos sigue una distribución normal. Para ello se usó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, dando como resultado el cumplimiento de normalidad para los residuos.

En la figura 33 y 34 se muestra la gráfica de residuos para la variable merma, donde se observa, empezando por la primera gráfica, que los datos tienen una distribución normal, pues los puntos se ajustan a la recta; los residuos tienen un comportamiento aleatorio; el histograma lleva la forma de la curva gaussiana y de la gráfica orden de observación se demuestra que existe aleatoriedad; por lo tanto, cumple los supuestos para el modelo.

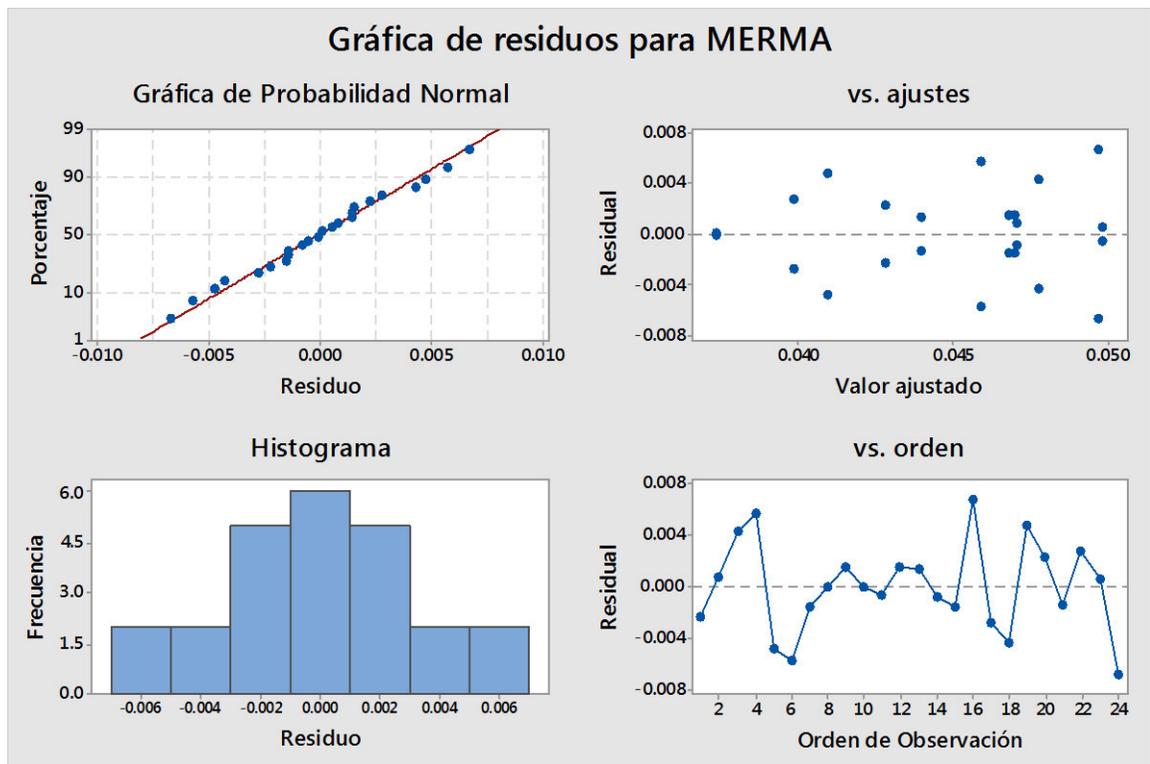
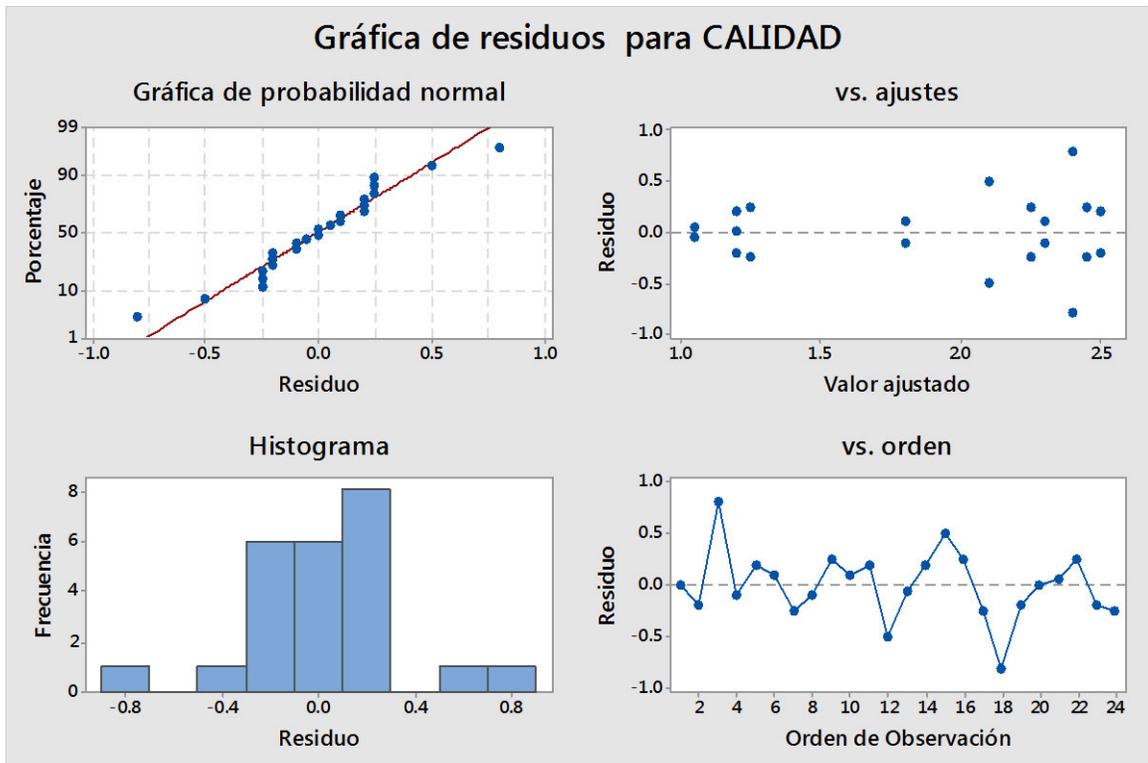
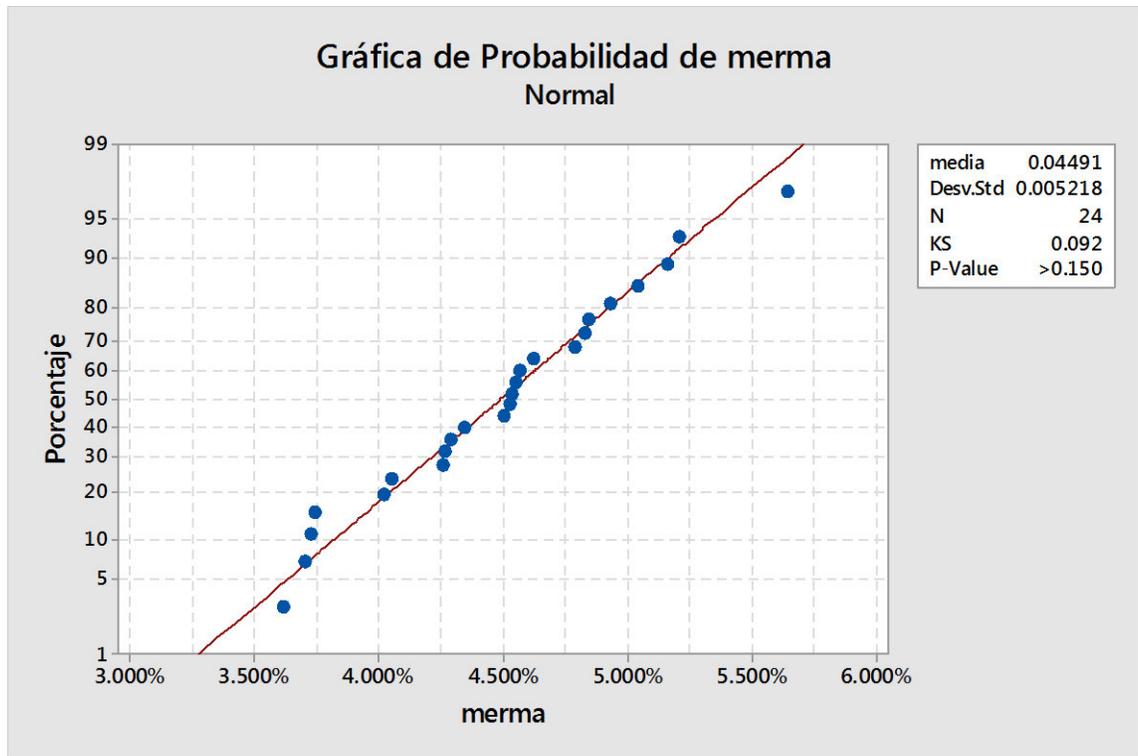


Figura 33. Gráfico de residuales de la merma

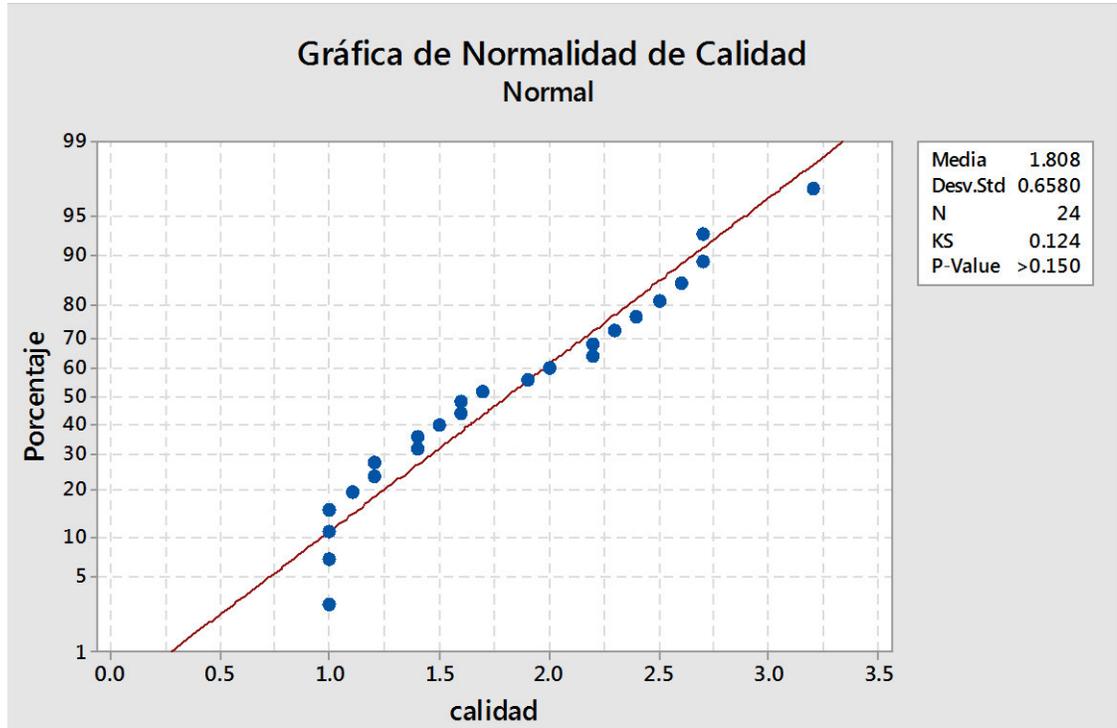


**Figura 34. Gráfico de residuales de la calidad**

Asimismo, en la figura 35 y 36 se presenta la prueba de Kolmogorov-Smirnov, en la que se aprecia que el valor  $p$  es 0.150, por ello aceptamos la hipótesis nula y concluimos que la población es normal.



**Figura 35. Test de normalidad de la merma**



**Figura 36. Test de normalidad de la calidad**

En la figura 38 se muestra la gráfica de residuos para la variable calidad, donde se observa que los datos casi se ajustan a la recta en la primera gráfica, existe aleatoriedad. Pero en el caso del histograma los residuos muestran un comportamiento bastante irregular; por ello se evaluó la normalidad de las variables con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esta se presenta en la figura 32 donde se ve que el valor  $p$  es 0.150, por ello aceptamos la hipótesis nula y concluimos que la población de los residuos sigue una distribución normal.

Anexo 7. Tablas estadísticas de Fisher (Fo)

$P=0.95$

<i>gl<sub>2</sub></i>	<i>Grados de libertad 1 gl<sub>1</sub></i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.4	199.50	215.7	224.5	230.1	233.9	236.7	238.8	240.5	241.8
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.97
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.73
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85
1000	3.85	3.01	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84

$P=0.95$

$gl_2$	<i>Grados de libertad 1 <math>gl_1</math></i>									
	11	12	15	20	25	30	40	50	100	1000
1	242.9	243.9	245.9	248.0	249.2	250.0	251.1	251.7	253.0	254.1
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.46	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.76	8.74	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.55	8.53
4	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.74	5.72	5.70	5.66	5.63
5	4.70	4.68	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.41	4.37
6	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.71	3.67
7	3.60	3.57	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.27	3.23
8	3.31	3.28	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.97	2.93
9	3.10	3.07	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.76	2.71
10	2.94	2.91	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.59	2.54
11	2.82	2.79	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.46	2.41
12	2.72	2.69	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.35	2.30
13	2.63	2.60	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21
14	2.57	2.53	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.19	2.14
15	2.51	2.48	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.12	2.07
16	2.46	2.42	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.07	2.02
17	2.41	2.38	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.02	1.97
18	2.37	2.34	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	1.98	1.92
19	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.94	1.88
20	2.31	2.28	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.91	1.85
21	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.88	1.82
22	2.26	2.23	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.85	1.79
23	2.24	2.20	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.82	1.76
24	2.22	2.18	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.80	1.74
25	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.78	1.72
26	2.18	2.15	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.76	1.70
27	2.17	2.13	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.74	1.68
28	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.73	1.66
29	2.14	2.10	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.71	1.65
30	2.13	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.70	1.63
35	2.07	2.04	1.96	1.88	1.82	1.79	1.74	1.70	1.63	1.57
40	2.04	2.00	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.59	1.52
50	1.99	1.95	1.87	1.78	1.73	1.69	1.63	1.60	1.52	1.45
60	1.95	1.92	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.48	1.40
80	1.91	1.88	1.79	1.70	1.64	1.60	1.54	1.51	1.43	1.34
100	1.89	1.85	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.39	1.30
200	1.84	1.80	1.72	1.62	1.56	1.52	1.46	1.41	1.32	1.21
500	1.81	1.77	1.69	1.59	1.53	1.48	1.42	1.38	1.28	1.14
1000	1.80	1.76	1.68	1.58	1.52	1.47	1.41	1.36	1.26	1.11