



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“ESTUDIO DEL PROCESO TÉRMICO DE COCCIÓN POR SOUS-  
VIDE DE MÚSCULO DE CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*)”**

Jhovissa Jhamilet Beltran Mendoza

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Co-Asesor: M. Sc. Jose Manuel Prieto

Juliaca, 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“ESTUDIO DEL PROCESO TÉRMICO DE COCCIÓN POR SOUS-  
VIDE DE MÚSCULO DE CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*)”**

**Jhovissa Jhamilet Beltran Mendoza**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Asesora: Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca**

**Co-Asesor: M. Sc. Jose Manuel Prieto**

**Juliaca, 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“ESTUDIO DEL PROCESO TÉRMICO DE COCCIÓN POR SOUS-  
VIDE DE MÚSCULO DE CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*)”**

Jhovissa Jhamilet Beltran Mendoza

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesora: Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

Co- Asesor: M.Sc. Jose Manuel Prieto

Juliaca, 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

Beltran, J. (2023). *Estudio del proceso térmico de cocción por Sous-Vide de músculo de carne de alpaca (Vicugna pacos)*. (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

**AUTOR:** Jhovissa Jhamilet Beltran Mendoza

**TÍTULO:** Estudio del proceso térmico de cocción por sous-vide de músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*).

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2023

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (125 pp)

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 03-000021-03/B35

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca

**CO-ASESOR:** M. Sc. Jose Manuel Prieto

**PALABRAS CLAVE:** Sous-vide, Carne de Alpaca, Difusividad-térmica, Coeficiente-convectivo, Textura, Calorimetría diferencial de barrido.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**

**“ESTUDIO DEL PROCESO TÉRMICO DE COCCIÓN POR SOUS-VIDE DE MÚSCULO DE CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentada por:**

**Jhovissa Jhamilet Beltran Mendoza**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dr. NOE BENJAMIN PAMPA QUISPE**

**PRESIDENTE DE JURADO**



**Mtra. TANIA JAKELINE CHOQUE RIVERA**

**JURADO (Secretario)**



**2° MIEMBRO**

**Mtro. CARLOS RICARDO HANCO CERVANTES**

**JURADO (Vocal)**



**3° MIEMBRO**



**Dra.Sc. OLIVIA MAGALY LUQUE VILCA**  
**ASESOR DE TESIS**



**M.Sc. JOSE MANUEL PRIETO**  
**CO-ASESOR DE TESIS**










## Document Information

---

Analyzed document	BORRADOR DE TESIS-JHAMILET BELTRAN.pdf (D163534394)
Submitted	4/10/2023 3:56:00 PM
Submitted by	Jhony Arisaca
Submitter email	aj.arisaca@unaj.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	aj.arisaca.unaj@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11065/DiazMolins.pdf?sequenc">https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11065/DiazMolins.pdf?sequenc</a> Fetched: 4/10/2023 3:57:00 PM	 9
<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA / 3 Proyecto de Tesis Final - Fernando Huayta Quispe.pdf</b> Document 3 Proyecto de Tesis Final - Fernando Huayta Quispe.pdf (D108895416) Submitted by: juliogallegos01@gmail.com Receiver: juliogallegos01.unaj@analysis.arkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>8. Tesis texto plano.docx</b> Document 8. Tesis texto plano.docx (D42674935)	 4
<b>SA</b>	<b>190_Urkund_aceptar.docx</b> Document 190_Urkund_aceptar.docx (D109809999)	 2
<b>SA</b>	<b>UNU_agroindustrial_2023_T_diana_aguilar_v1.pdf</b> Document UNU_agroindustrial_2023_T_diana_aguilar_v1.pdf (D160286543)	 1
<b>SA</b>	<b>UNU_AGROINDUSTRIAS_T_2019_KAROLFLORESGRANDEZ.docx</b> Document UNU_AGROINDUSTRIAS_T_2019_KAROLFLORESGRANDEZ.docx (D52708303)	 2
<b>SA</b>	<b>Ruth Delicia Tiravanti Melendez y Lucy Rafael Pedraza-PT+-IIA.pdf</b> Document Ruth Delicia Tiravanti Melendez y Lucy Rafael Pedraza-PT+-IIA.pdf (D142414725)	 3
<b>W</b>	URL: <a href="http://eprints.ucm.es/5138">http://eprints.ucm.es/5138</a> Fetched: 4/10/2023 3:57:00 PM	 1
<b>SA</b>	<b>INFORME FINAL DE NISPERO.docx</b> Document INFORME FINAL DE NISPERO.docx (D63611283)	 1

## DEDICATORIA

*A mi Madre.*

*A mi pequeña Abbygail Jhensy.*

*A mi pequeño Liam Santiago.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a la Universidad Nacional de Juliaca por la formación académica que me brindó todo el conocimiento adquirido en estos años.*

*Brindo un especial agradecimiento a mi asesora, la **Dra. Sc. Olivia Magaly Luque Vilca** por el tiempo y dedicación quien, con su conocimiento, experiencia y motivación hizo posible la ejecución de la presente tesis.*

*Así también agradezco a mi Co-asesor el **M.Sc. Jose Manuel Prieto** por haber sido mi guía durante la ejecución de la presente tesis, por sus conocimientos y aporte para la culminación del trabajo de investigación.*

*Quiero expresar mi agradecimiento a mis jurados de tesis, el **Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe**, la docente **Mtra. Tania Jakeline Choque Rivera** y **Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes** por haber brindado su tiempo, para fortalecer los conocimientos de la presente investigación.*

*A mi familia y personas que me ayudaron para la culminación de este proyecto de investigación.*



# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	19
	1.2.1 Objetivo General .....	19
	1.2.2 Objetivos Específicos .....	19
1.3	JUSTIFICACIÓN .....	19

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES .....	20
2.2	MARCO TEÓRICO .....	21
	2.2.1 Procesos térmicos .....	21
	2.2.2 Propiedades térmicas de los alimentos .....	21
	2.2.3 Difusividad térmica .....	21
	2.2.4 Calor específico .....	22
	2.2.5 Densidad .....	22

2.2.6	Conductividad térmica .....	22
2.2.7	Textura .....	23
2.2.8	Color .....	23
2.2.9	Influencia del tratamiento térmico en la textura de la carne .....	24
2.2.10	Simulación .....	24
2.2.11	Importancia de la simulación .....	24
2.2.12	Validación .....	24
2.2.13	Métodos de Validación .....	24
2.2.14	Metodología regresión lineal .....	25
2.2.15	Tecnología Sous-Vide.....	25
2.2.16	Origen de la tecnología Sous-Vide .....	26
2.2.17	Definición de Sous-Vide.....	26
2.2.18	Tiempo y temperaturas de algunos productos alimentarios bajo proceso de cocción Sous-Vide .....	28
2.2.19	Beneficios del método Sous-Vide.....	29
2.2.20	Desventajas del método Sous-vide .....	29
2.2.21	Carne .....	29
2.2.22	Carne de alpaca .....	29
2.2.23	Composición fisicoquímica de la carne de alpaca .....	30
2.2.24	Normas Técnicas Peruanas .....	30

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>ÁMBITO DE ESTUDIO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO GENERAL .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>35</b>

3.5.1	Variable independiente .....	35
3.5.2	Variable dependiente .....	35
<b>3.6</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS Y PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	<b>35</b>
3.6.1	Técnicas o instrumentos de recolección de datos .....	35
3.6.2	Materiales.....	35
<b>3.7</b>	<b>DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y COEFICIENTE CONVECTIVO EN EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICO INICIAL PARA LA CARNE DE ALPACA (<i>Vicugna pacos</i>).....</b>	<b>37</b>
3.8.1	Análisis fisicoquímico de la carne de alpaca .....	38
3.8.2	Determinación de calor específico (Cp) y conductividad térmica (k) ..	41
3.8.3	Estimación del coeficiente convectivo (h).....	42
3.8.4	Estimación de la difusividad térmica ( $\alpha$ ).....	44
<b>3.8</b>	<b>SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN SOUS-VIDE MEDIANTE EL MÉTODO DE ERROR DE SUMA DE CUADRADOS. ....</b>	<b>44</b>
3.9.1	Simulación de temperaturas y tiempos de cocción Sous-vidé.....	44
3.9.2	Validación de tiempos de cocción Sous-vidé mediante el método de suma de cuadrados. ....	45
3.9.3	Análisis fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y textura, después del proceso de cocción Sous-vidé.....	47
3.9.4	Análisis de las transiciones de fase de las proteínas de la carne de alpaca bajo el proceso de cocción sous-vidé mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	49
<b>3.9</b>	<b>DISEÑO ESTADÍSTICO.....</b>	<b>49</b>
<b>3.10</b>	<b>HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>50</b>
3.11.1	Hipótesis general.....	50
3.11.2	Hipótesis específicas.....	50

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>PARÁMETROS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y COEFICIENTE CONVECTIVO EN EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE Y ANÁLISIS FISCOQUÍMICO INICIAL PARA LA CARNE DE ALPACA (<i>Vicugna pacos</i>).....</b>	<b>51</b>
4.1.1	Análisis Fiscoquímico de la carne de alpaca-fresca .....	51
<b>4.2</b>	<b>SIMULACIÓN, VALIDACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPOS DE COCCIÓN.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3</b>	<b>DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS, SENSORIALES, TEXTURA Y COLOR, DESPUÉS DEL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE.....</b>	<b>60</b>
4.3.1	Análisis microbiológico.....	60
4.3.2	Análisis sensorial .....	62
4.3.3	Textura.....	66
4.3.4	Color .....	69
<b>4.4</b>	<b>TRANSICIONES DE FASE DE LAS PROTEÍNAS DE LA CARNE DE ALPACA (<i>Vicugna pacos</i>) BAJO EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE MEDIANTE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).....</b>	<b>76</b>

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tiempos y temperaturas de cocción Sous-Vide de alimentos. ....	28
Tabla 2: Técnicas o instrumentos de recolección de datos.....	35
Tabla 3: Variables de estudio para la determinación de propiedades fisicoquímicos y térmicos.....	37
Tabla 4: Factores de conversión de proteína. ....	39
Tabla 5: Variables de estudio para validación del tiempo de cocción.....	46
Tabla 6: Suma de cuadrados en variabilidad de residuos, regresión y total.....	47
Tabla 7: Composición química de carne cruda de alpaca (Vicugna pacos) .....	51
Tabla 8: Parámetros térmicos de calor específico (Cp) y conductividad térmica (k).....	52
Tabla 9: Difusividad térmica de la carne de alpaca en cocción Sous – Vide a temperatura de 65°C y 70°C .....	54
Tabla 10: Simulación de datos para cálculo de tiempo de cocción a temperatura de 65°C	58
Tabla 11: Simulación de datos para cálculo de tiempo de cocción a temperatura de 70°C	58
Tabla 12: Datos de tiempo de cocción experimental y simulados. ....	59
Tabla 13: Análisis de varianza de tiempo de cocción Sous-vide . ....	60
Tabla 14: Recuento de UFC en carne de alpaca.....	61
Tabla 15: Resumen (Medias LS) - GENERO: .....	63
Tabla 16: Resumen (Medias LS) - Muestra: .....	64
Tabla 17: Registro de datos para considerar en el análisis de textura bajo Cocción Sous-Vide para la carne de alpaca. ....	67
Tabla 18: Color de carne de alpaca (Vicugna pacos) procesada mediante Sous-vide . ....	70
Tabla 19: Parámetros de las transiciones térmicas. $\Delta G$ : Energía para la transición térmica, To: Inicial temperatura de transición; Td: temperatura de desnaturalización; T.f.: Temperatura final de transición. ....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Diagrama de flujo de proceso de cocción Sous-Vide.....	27
Figura N° 2: Diagrama experimental de investigación. ....	32
Figura N° 3: Esquema general del armado de equipo. ....	34
Figura N° 4: Perfil de calentamiento o curva de penetración de calor. ....	55
Figura N° 5: Ajuste del tramo lineal del ln de fuerza impulsora frente al tiempo para las muestras de carne de alpaca en cocción de 65°C y 70°C. ....	55
Figura N°6: Simulación del perfil de calentamiento a temperatura de cocción Sous - Vide de 65°C. ....	58
Figura N°7: Simulación de perfil de calentamiento a temperatura de cocción Sous - Vide de 70°C. ....	59
Figura N° 8: Relación de apariencia general / Coeficientes estandarizados. ....	62
Figura N° 9: Atributos organolépticos en relación con el género. ....	63
Figura N°10: Atributos organolépticos en relación con la muestra. ....	64
Figura N°11: Gráfica de análisis de correspondencias. ....	65
Figura N°12: Cocción Sous – Vide de carne de alpaca a temperatura de 65°C y 70°C para análisis de textura. ....	66
Figura N° 13: Toma de medidas de muestra de carne de alpaca a analizar y texturómetro INSTROM 34 TM-5-SA. ....	68
Figura N° 14: Análisis de textura de carne de alpaca.....	68
Figura N° 15: Termograma de calorimetría diferencial de barrido de Muestra de carne de alpaca deshidratada.....	76
Figura N° 16: Preparación de láminas de carne para análisis sensorial. ....	90
Figura N° 17: Preparación de láminas de carne en bolsas a vacío. ....	90
Figura N° 18: Preparación de láminas de carne en bolsas a vacío y cocción Sous-vide.....	91
Figura N° 19: Muestras codificadas para análisis sensorial. ....	91
Figura N° 20: Implementos para análisis sensorial. ....	92
Figura N° 21: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	92
Figura N° 22: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	93
Figura N° 23: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	93
Figura N° 24: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	94
Figura N° 25: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	94
Figura N° 26: Realización de análisis sensorial con panelistas.....	95
Figura N° 27: Replica 1- tiempo1(65°C x 60min) .....	101

Figura N° 28: Replica 2- tiempo1(65°C x 60min) .....	101
Figura N° 29: Replica 3- tiempo1(65°C x 60min) .....	102
Figura N° 30: Replica 1- tiempo2(65°C x 50min) .....	102
Figura N° 31: Replica 2- tiempo2(65°C x 50min) .....	103
Figura N° 32: Replica 3- tiempo2(65°C x 50min) .....	103
Figura N° 33: Replica 1- tiempo3(65°C x 40min) .....	104
Figura N° 34: Replica 2- tiempo3(65°C x 40min) .....	104
Figura N° 35: Replica 3- tiempo3(65°C x 40min) .....	105
Figura N° 36: Replica 1- tiempo4(65°C x 50min) .....	105
Figura N° 37: Replica 2- tiempo 4(65°C x 50min) .....	106
Figura N° 38: Replica 3- tiempo 4(65°C x 50min) .....	106
Figura N° 39: Replica 1- tiempo 5(65°C x 60min) .....	107
Figura N° 40: Replica 2- tiempo5(65°C x 60min) .....	107
Figura N° 41: Replica 3- tiempo 5(65°C x 60min) .....	108
Figura N° 42: Replica 1- tiempo1(70°C x 20min) .....	108
Figura N° 43: Replica 2 - tiempo 1(70°C x 20min) .....	109
Figura N° 44: Replica 3- tiempo1(70°C x 20min) .....	109
Figura N° 45: Replica 1- tiempo2(70°C x 30min) .....	110
Figura N° 46: Replica 2- tiempo2(70°C x 30min) .....	110
Figura N° 47: Replica 3- tiempo2(70°C x 30min) .....	111
Figura N° 48: Replica 1- tiempo3(70°C x 40min) .....	111
Figura N° 49: Replica 2- tiempo3(70°C x 40min) .....	112
Figura N° 50: Replica 3- tiempo3(70°C x 40min) .....	112
Figura N° 51: Replica 1- tiempo4(70°C x 50min) .....	113
Figura N° 52: Replica 2- tiempo4(70°C x 50min) .....	113
Figura N° 53: Replica 3- tiempo4(70°C x 50min) .....	114
Figura N° 54: Replica 1- tiempo5(70°C x 60min) .....	114
Figura N° 55: Replica 2- tiempo5(70°C x 60min) .....	115
Figura N° 56: Replica 3- tiempo5(70°C x 60min) .....	115

## ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza del análisis microbiológico.....	86
Anexo 2:Ficha de evaluación sensorial. ....	87
Anexo 3: Resultados de análisis sensorial.....	88
Anexo 4: Análisis de varianza (Apariencia General):.....	95
Anexo 5.: Análisis suma de cuadrados: Tipo I (Apariencia General):.....	95
Anexo 6: Parámetros del modelo (Apariencia General):.....	95
Anexo 7: Ecuación del modelo (Apariencia General):.....	96
Anexo 8: Coeficientes estandarizados (Apariencia General):.....	96
Anexo 9: Predicciones y residuos (Apariencia General):.....	96
Anexo 10: Muestra / Fisher (LSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Apariencia General):.....	97
Anexo 11: GENERO / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Apariencia General):.....	97
Anexo 12: Análisis de varianza (Sabor):.....	97
Anexo 13: Análisis suma de cuadrados: Tipo I (Sabor):.....	98
Anexo 14: Gráficos de las medias:.....	98
Anexo 15: Resumen (Medias LS) – GENERO y Muestra.....	99
Anexo 16: Predicciones y residuos (Sabor):.....	99
Anexo 17: Análisis de color (Temperatura de cocción 65°C).....	101
Anexo 18: Análisis de color (Temperatura de cocción 70°C).....	108
Anexo 19: Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de Coeficiente convectivo y difusividad termina.....	116
Anexo 20: Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de Coeficiente convectivo y difusividad termina, cálculo de Numero de biot. ....	116
Anexo 21: Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de difusividad térmica considerando la forma de lámina del alimento. ....	117
Anexo 22: Plantilla utilizada para la simulación de datos de la difusividad térmica. ....	117
Anexo 23: Programación de color.....	118
Anexo 24: Programación de simulación de datos.....	122
Anexo 25: Grafico resumen.....	125



## RESUMEN

El desarrollo de técnicas modernas de procesamiento de alimentos para la conservación de sus propiedades funcionales y sensoriales es un área importante en la gastronomía molecular y la ingeniería de alimentos. Por lo tanto, es importante promocionar la forma adecuada de procesamiento para fomentar su consumo. En el presente estudio de investigación, se evaluó el proceso de cocción por Sous-vide (*a vacío*) del músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) para determinar sus propiedades fisicoquímicas y de transferencia de calor. Los resultados mostraron que la carne de alpaca tiene una composición fisicoquímica de 21.69% de proteína, 2.70% de grasa, 74.47% de humedad y 1.12% de cenizas. También se determinó el calor específico de la carne de alpaca de 3.508 KJ/Kg °C, la conductividad térmica de 0.471 W/m°C, el coeficiente convectivo de 6.805 W/m<sup>2</sup>°C y la difusividad térmica de 9.1618 x 10<sup>-09</sup> m<sup>2</sup>/s y 4.5712 x 10<sup>-09</sup> m<sup>2</sup>/s a temperaturas de 65°C y 70°C, respectivamente. En la simulación los tiempos de cocción oscilan entre 23.35 y 93.43 minutos a 65°C y entre 47.84 y 191.37 minutos a 70°C para espesores de 2 a 4 cm. El análisis sensorial, demostró que la muestra A (cocción de 65°C x 50 min) obtuvo mejor aceptabilidad en apariencia general, sabor y color, mientras que la muestra B (cocción de 70°C x 40 min) obtuvo mejor aceptabilidad en ternura y jugosidad. Sin embargo, en el análisis la prueba de Kramer se observó que el tratamiento con menor fuerza de corte fue la muestra A con 86.95 N y en la muestra B con 104.86 N de fuerza. Los parámetros de las transiciones térmicas fueron: (Miosina 0.338 W/g - 21.79°C), (Colágeno 0.365 W/g -66.03°C) y (Actina 0.11 W/g - 81.3 °C) de energía para la transición térmica  $\Delta G$  y la temperatura de desnaturalización de las proteínas respectivamente, determinados por el DSC, concluyendo que la mejor forma de cocción es a 65°C y 50 min. Al realizar el análisis de varianza los resultados nos muestran que no existe diferencia significativa con un  $\alpha = 95\%$ .

**Palabras claves:** Sous-vide, Carne de Alpaca, Difusividad-térmica, Coeficiente-convectivo, Textura, Calorimetría diferencial de barrido.

## ABSTRACT

The development of modern food processing techniques for the preservation of their functional and sensory properties is an important area in molecular gastronomy and food engineering. Therefore, it is important to promote the proper form of processing to encourage its consumption. In the present research study, the sous-vide (vacuum) cooking process of alpaca (*Vicugna pacos*) meat muscle was evaluated to determine its physicochemical and heat transfer properties. The results showed that alpaca meat has a physicochemical composition of 21.69% protein, 2.70% fat, 74.47% moisture, and 1.12% ash. The specific heat of the alpaca meat of 3.508 KJ/Kg °C, the thermal conductivity of 0.471 W/m°C, the convective coefficient of 6.805 W/m<sup>2</sup>°C and the thermal diffusivity of 9.1618 x 10<sup>-09</sup> were also determined. m<sup>2</sup>/s and 4.5712 x 10<sup>-09</sup> m<sup>2</sup>/s at temperatures of 65°C and 70°C, respectively. In the simulation, the cooking times range between 23.35 and 93.43 minutes at 65°C and between 47.84 and 191.37 minutes at 70°C for thicknesses of 2 to 4 cm. The sensory analysis showed that sample A (cooking at 65°C x 50 min) obtained better acceptability in general appearance, flavor and color, while sample B (cooking at 70°C x 40 min) obtained better acceptability in tenderness. and juiciness. However, in the analysis of the Kramer test, it was observed that the treatment with the lowest cutting force was sample A with 86.95 N and sample B with 104.86 N of force. The parameters of the thermal transitions were: (Myosin 0338 W/g - 21.79°C), (Collagen 0.365 W/g -66.03°C) and (Actin 0.11 W/g - 81.3 °C) of energy for the thermal transition  $\Delta G$  and the protein denaturation temperature respectively, determined by the DSC, concluding that the best cooking method is at 65°C and 50 min. When performing the analysis of variance, the results show us that there is no significant difference with  $\alpha = 95\%$

**Keywords:** Sous-vide, Alpaca meat, Thermal-diffusivity, Convective-coefficient, Texture, Differential scanning calorimetry (DSC).

## INTRODUCCIÓN

La cocción al vacío es uno de los métodos para producir productos listos para consumir. En este método de cocción, los alimentos crudos se sellan al vacío en una bolsa de plástico termoestable de calidad alimentaria y luego se cocinan en un baño de agua a una temperatura y tiempo controlados (Baldwin, 2012)

La mayor población de alpacas en Perú se encuentra en el departamento de Puno, con al menos 1 millón 807 mil cabezas (46%), seguido por Cusco con 608 mil cabezas (16%) y Arequipa con 500 mil cabezas (13%). Otros departamentos con menor producción son Huancavelica, Apurímac, Ayacucho y Moquegua (INEI, 2012). En particular, la carne de alpaca presenta grandes bondades culinarias debido a la presencia de colágeno en su microestructura, pero una cocción inadecuada puede producir módulos de elasticidad defectuosos.

La difusividad térmica y el coeficiente de convección son dos propiedades presentes en todos los mecanismos de cocción de alimentos, el estudio de estas dos propiedades permite conocer la velocidad de transferencia de calor interna y externa es decir los coeficientes de película  $h$  que se generan al exterior de la carne que influyen en el número de Biot que a su vez determina la transferencia de calor por conducción en régimen transitorio dentro de la carne que es gobernado por mecanismos difusivos acoplados a mecanismos termodinámicos.

El análisis de imágenes espectrales permite reconocer patrones de transferencia de calor en alimentos es una técnica muy difundida en uso industrial ya que permite identificar anomalías por cambios de color producto de la emisividad que genera estas cámaras. El análisis de la transferencia de calor de la carne de alpaca se realiza empleando un sensor de temperatura los cuales transmitieron la información a un programa de adquisición de datos.

Por ello, este estudio proporciona información valiosa para la industria alimentaria y la promoción del consumo de carne de alpaca, demostrando la importancia del uso de técnicas modernas de procesamiento de alimentos para preservar sus propiedades funcionales y sensoriales.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los cambios en el estilo de vida en los países industrializados han impulsado la aparición de nuevas tendencias en el consumo de alimentos, en las que se conjuga no sólo la búsqueda de alimentos saludables sino la posibilidad de alimentarse adecuadamente en el difícil mundo de hoy. En la actualidad el avance tecnológico e investigaciones en el campo de la restauración han traído como consecuencia la innovación en los métodos de cocción, la técnica de cocina al vacío o método Sous-Vide es el resultado de la aplicación de la tecnología del vacío en los procesos de cocción y conservación de los alimentos (Samaniego y Carpio, 2017)

Cocción es la aplicación de calor para cambiar los alimentos para comer: algunos de estos cambios suceden rápido y otros suceden lentamente. La mayoría de la cocina tradicional solo se refiere con cambios rápidos porque es difícil mantener los alimentos a una temperatura (por debajo de la ebullición) con fuentes de calor tradicionales durante el tiempo suficiente para que estos cambios lentos se vuelvan importantes. El control preciso de la temperatura en la cocción al vacío le permite controlar tanto los cambios rápidos como los lentos (Baldwin, 2012), lo importante es evitar el cambio o la desnaturalización de las proteínas: en la carne, las proteínas se encogen, solubilizan o gelifican cuando se desnaturalizan y cambia la textura de la carne.

Sous-vide es un término francés que significa "al vacío". La cocción SV es el proceso de cocinar los productos alimenticios crudos o los alimentos tratados con productos alimenticios crudos a temperaturas y tiempos controlados en el envasado al vacío resistente al calor y el baño de agua circulante (Bıyıklı *et al.*, 2020).

El envasado al vacío antes del cocinado tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de microorganismos aerobios y la oxidación de grasas, consiguiendo una mayor vida comercial de los platos cocinados con respecto a otros métodos convencionales de cocinado-refrigeración (Church y Parsons, 1993).

La aplicación de calor constituye un procedimiento físico empleado sobre los alimentos con el objetivo de destruir los posibles microorganismos que pudiera contener, de forma que resulten seguros y se alargue su periodo de conservación. Sin embargo, hay que tener en cuenta la intensidad del tratamiento aplicado (parámetros de tiempo y temperatura), ya que afecta las características intrínsecas del propio alimento, tales como textura, aroma o desnaturalización de proteínas, pérdida de vitaminas y minerales (Huaracha , 2013).

Realizar una cocción al vacío permite una transferencia de calor o penetración de calor del agua a el alimento; contribuye a aumentar la vida útil al evitar el riesgo de recontaminación en el almacenamiento; por otro lado, inhibe los sabores desagradables que se puedan generar y evitar las pérdidas por evaporación de los sabores volátiles y la humedad durante la cocción del alimento.

En el modelado y cálculo de la transferencia de calor transitoria, la difusividad térmica es una propiedad de transporte importante y necesaria para la predicción de los cambios nutricionales y microbianos que ocurren en las operaciones básicas de procesamiento de los alimentos (Muramatsu *et al.*, 2017).

De acuerdo con lo expuesto surgen las siguientes interrogantes, pregunta general: ¿Cómo realizar un estudio del proceso térmico de cocción por Sous-Vide de músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*)? y preguntas específicas:

- ¿Cuáles son los parámetros de difusividad térmica y coeficiente convectivo en el proceso de cocción Sous-vide y análisis fisicoquímico inicial para la carne de alpaca (*Vicugna pacos*)?
- ¿Cómo simular los datos de temperatura y tiempo de cocción Sous-vide y validar mediante el método de error de suma de cuadrados?
- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y de textura de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*) después del proceso de cocción Sous-vide?
- ¿Cómo es la transición de fase de las proteínas más importantes de la carne de alpaca bajo el proceso de cocción Sous-vide mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC)?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo General

- Realizar un estudio del proceso térmico de cocción por Sous-vide de músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*)

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de difusividad térmica y coeficiente convectivo en el proceso de cocción Sous-vide y análisis fisicoquímico inicial para la carne de alpaca (*Vicugna pacos*).
- Simular los datos de temperatura y tiempo de cocción Sous-vide y Validar mediante el método de error de suma de cuadrados.
- Realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y textura, después del proceso de cocción Sous-vide.
- Analizar las transiciones de fase de las proteínas de la carne de alpaca bajo el proceso de cocción Sous-vide mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se viene realizando diferentes estudios en cuanto a la pérdida de propiedades nutritivas y sensoriales en la cocción de las carnes. Esta investigación analiza la importancia de dichas propiedades. La utilidad de esta investigación radica en la determinación, simulación y validación de la difusividad térmica y coeficiente convectivo del método de cocción Sous-vide. Esto con la finalidad de poder predecir parámetros de tiempo y temperaturas adecuadas en la cocción por su efecto en las propiedades sensoriales de la carne de alpaca (Mortensen *et al.*, 2012). Las propiedades mecánicas en tejidos, miofibrillas y proteínas como la actina, miosina y colágeno son importantes al momento del consumo es por esa razón que un adecuado proceso de cocción (Baldwin, 2012), dará como resultado una textura adecuada y altamente palatable por los consumidores. Estas propiedades de textura dependen de las propiedades térmicas de la micro y macro estructura de la carne (Zhang *et al.*, 2022), para ello es importante asumir el rol de plasticidad mecánica que cumple el agua es por esa razón que la cocción al vacío de tejidos animales permite en un primer momento eliminar la presencia de aire ocluido en los espacios intercelulares de los tejidos que asociado a el equilibrio de presiones después de recuperar la presión atmosférica permite incorporar agua en estos espacios generando plasticidad mecánica y cambios de color adecuados por la luminosidad presente (García-Segovia *et al.*, 2007).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

En un trabajo de investigación realizado por Merve, Aylin, Şebnem, y İlker Turan, (2020) titulado “Effect of different Sous-vide cooking temperature-time combinations on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of turkey cutlet” en la que estudió carne de pechuga de pavo condimentada sometida a diferentes combinaciones de temperaturas y tiempo de cocción Sous-vide (65,70,75 °C x 20, 40, 60 min) en la cual obtuvo que a medida que el tiempo de cocción aumentaba de 20 a 60 min; los valores de rendimiento de cocción, humedad, L \*, a \*, tenacidad, adhesividad y elasticidad disminuyeron, pero la pérdida de cocción, grasa, pH, dureza, propensión, adhesividad y masticabilidad aumentaron monótonamente.

Llave *et al.*, (2017) en su trabajo de investigación titulado “Analysis of the effects of thermal protein denaturation on the quality attributes of sous-vide cooked tuna” realizada en la universidad de ciencia y tecnología marinas de Tokio, en la que analiza la desnaturalización de proteínas térmicas (TDP) en procesos de cocción Sous-Vide con métodos tradicional y novedoso, aplicando calorimetría diferencial de barrido para varios programas térmicos mediante un análisis cinético. En la cual reveló dos puntos aproximados de TPD 71 °C y 48 °C para actina y miosina respectivamente, y en base a este resultado pudo estimar la TPD para diferentes condiciones de procesamiento para cada proteína.

Roldán, Antequera, Martín, Mayoral, y Ruiz, (2013) realizó un estudio titulado “Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins”, en la cual trabaja con lomos de cordero sometidos a diferentes combinaciones de temperatura (60, 70 y 80 °C) y tiempo (6, 12 y 24 h) en cocción al vacío, concluyendo que las muestras cocinadas durante 20 h mostraron valores significativamente más bajos para la mayoría de los parámetros texturales estudiados y que a su vez observó una del tejido conectivo a 60 °C y gelificación a los 70 °C en las micrografías SEM, afirma también que las muestras cocinadas a 60 °C mostraron mayor

luminosidad y enrojecimiento, mientras que el aumento de temperatura y tiempo de cocción produjeron valores de amarillos más altos.

El artículo publicado por (Sánchez Del Pulgar, Gázquez, y Ruiz-Carrascal, 2012) titulado “Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time” sometiendo a diferentes temperaturas (60 u 80 °C), tiempo (5 o 12 h) y vacío (envasado al vacío o al aire) carrilleras de cerdo, obtuvo menores pérdidas de peso y mayor contenido de humedad en muestras cocinadas por un tiempo y temperatura menor, concluyendo que las combinaciones de temperatura x tiempo parece más importante que el envasado al vacío en los parámetros de textura y color de carrilleras de cerdo.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Procesos térmicos**

Los procesos térmicos son operaciones en las que se aplica temperatura ya sea en una etapa de calentamiento o enfriamiento a tiempos determinados, por esta razón es necesario tener en cuenta ciertos parámetros del material que serán modificados sobre todo en la etapa de calentamiento (Atacúsí y Espin, 2013).

### **2.2.2 Propiedades térmicas de los alimentos**

Las propiedades térmicas de los alimentos están íntimamente ligadas a la variabilidad de su composición y estructura, esto hace que se dificulte conocer su comportamiento y se requiere conocer los datos de densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica, porosidad, humedad, difusividad y absorción (Zegarra, 2014).

### **2.2.3 Difusividad térmica**

Es una propiedad que define el calor difundido a través del material, donde se determina la penetración de calor en el alimento, y está dada por la conductividad térmica, densidad y calor específico del alimento (Barreto, 2013). Se puede definir como la conductividad térmica dividida por el producto del calor específico y la densidad, sus unidades en el Sistema Internacional es  $m^2/s$ . (Zegarra, 2014).



#### 2.2.4 Calor específico

El calor específico se puede definir como la cantidad de calor necesaria para incrementar la temperatura de un alimento en un °C, Heldman y Singh, (1990) propuso la ecuación para poder estimarla con respecto a los constituyentes:

$$C_p = 4.180X_{agua}^m + 1.547X_{proteina}^m + 1.672X_{grasa}^m + 1.42X_{CHO}^m + 0.836X_{cenizas}^m \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- $X_{agua}^m$  : Fracción másica del agua dentro de la muestra
- $X_{proteina}^m$  : Fracción másica de la proteína dentro de la muestra
- $X_{grasa}^m$  : Fracción másica de la grasa dentro de la muestra
- $X_{CHO}^m$  : Fracción másica de los carbohidratos dentro de la muestra
- $X_{cenizas}^m$  : Fracción másica de cenizas dentro de la muestra

#### 2.2.5 Densidad

La densidad se puede definir como la unidad de masa por unidad de volumen de alimento, en la que podemos tener densidad verdadera, densidad de sustancia, densidad de partícula, densidad aparente y por último densidad a granel, sus unidades en el Sistema Internacional son kg/m<sup>3</sup> (Guerrero, 2005).

#### 2.2.6 Conductividad térmica

La conductividad térmica se puede definir como la velocidad que es transferido el calor a través del espesor de un determinado alimento cuando existe gradiente de temperatura, sus unidades en el sistema internacional son W/m<sup>o</sup> k (Singh y Helman, 1998).

$$k = 0.25X_h + 0.155X_p + 0.16X_f + 0.135X_a + 0.58X_w \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- $X_h$  : Contenido de Carbohidrato
- $X_p$  : Contenido de Proteína
- $X_f$  : Contenido de Grasa
- $X_a$  : Contenido de Ceniza
- $X_w$  : Contenido de Agua

### 2.2.7 Textura

La textura son las propiedades mecánicas y estructurales de los alimentos que se manifiesta y puede ser detectada a través de los sentidos sensoriales del ser humano, en la que la principal responsable es la materia prima (Szczeniak, 2002). El desarrollo de una textura adecuada está influenciado por la distribución y composición de la grasa muscular, el pH y la reticulación del tejido conectivo (Bello, 2008)

### 2.2.8 Color

El color de la carne es un atributo importante que se está considerando como principal criterio de compra siendo el rojo brillante preferido al rojo pálido/oscuro en relación con la carne fresca (Troy y Kerry, 2010)

King y Whyte (2006), afirman que la carne cocinada, en el color viene determinado por el grado de desnaturalización de la mioglobina (Mb) en un primer momento, cuando se aplica el color a la carne, la Mb tiende a oxidarse dando lugar a la 27 formación de metamioglobina (MMb); sin embargo, si esta aplicación de color continua, la Mb se desnaturaliza dando lugar a un pigmento de color marrón.

La carne cocida Sous-vide posee una capa marrón menos gruesa en comparación con la carne procesada a alta temperatura. La carne cocinada en Sous-vide tiene valores de  $b^*$  más altos, lo que puede deberse al aumento de la MMb que da como resultado productos marrones (Botinestean *et al.*, 2016). Aunque se puede lograr más cocción en caso de Sous-vide cuando la carne se cocina durante un tiempo bastante largo (6h-24h) junto con una cocción uniforme en comparación con la cocción convencional desigual.

Los valores de enrojecimiento de la carne disminuyen con el aumento de la temperatura, en la carne de cordero y semitendinoso de carne de res, mientras que la carne cocida posee valores ligeramente más altos de amarillez durante tiempos de calentamiento prolongados (Reyna *et al.*, 2007). El color exterior de la superficie de la carne también depende de la caramelización y las reacciones de Maillard, ya que las reacciones tienen lugar a altas temperaturas, por lo que la carne cocida al vacío no se ve muy afectada por ella, aunque las técnicas de cocción que usan altas temperaturas están muy influenciadas.

El color de la carne puede ser medido de varias formas: visual, normalmente utilizando panelistas entrenados que asignan valores de acuerdo con una escala descriptiva que contiene unos valores ya preestablecidos; midiendo la concentración de Mb en las muestras (King y Whyte, 2006). Actualmente se utiliza el espacio CIELab, que consiste en definir el color en función de tres parámetros:  $L^*$ , que determina la luminosidad del cuerpo coloreado;  $a^*$ , que

mide la desviación rojo-verde; y  $b^*$ , que indica la desviación amarillo-azul. A partir de estas mediciones se pueden calcular otros valores ópticos adicionales como el ángulo de tono o Hue ( $h^\circ$ ), que determina el tono de color y la cromaticidad, saturación o croma, que indica la intensidad del color (Warriss, 2000).

### **2.2.9 Influencia del tratamiento térmico en la textura de la carne**

El tratamiento térmico gelifica el almidón y desnaturaliza las proteínas estructurales, los cuales influyen directamente sobre la textura de los alimentos, causando un efecto importante sobre la calidad del alimento (Reynaga, 2014)

Según Arévalo Llatas y Rivera Pinedo, (2018) quienes trabajaron con carne de cuy resaltando la suavidad, palatabilidad, calidad proteica y digestibilidad de la carne de cuy, y someterlo a diferentes tratamientos térmico llegó a la conclusión de que la textura de la carne es diferente significativamente según el tratamiento térmico aplicado.

### **2.2.10 Simulación**

La simulación se define como una técnica en la que se puede incluir maquetas o experimentos en programas de computadoras, en las que involucran cierto tipo de modelos lógicos y matemáticos que describen el comportamiento de un determinado proceso que nos permite comprender un sistema (Coss-Bú, 1998)

### **2.2.11 Importancia de la simulación**

Las simulaciones son importantes gracias a que tienen un potencial en el modelado matemático que se realiza para poder predecir el comportamiento físico o mecánico de una materia en un determinado proceso (Sermeño, 2014)

### **2.2.12 Validación**

Según Coss-Bú, (1998) la validación es una de las principales etapas de la simulación, el cual nos permite detallar las deficiencias existentes en el modelo formulado o los datos que ingresan al modelo. Podemos definir la validación de un modelo como la demostración de su exactitud para una aplicación concreta (FAO, 2004).

### **2.2.13 Métodos de Validación**

Otras metodologías examinan el concepto de dependencia entre dos variables estableciendo un criterio para determinar si existe o no tal dependencia, sin embargo no solo es importante la dependencia sino además medir el grado de asociación y conocer la forma concreta en la que se relacionan; en tal sentido la regresión se encarga de la determinación de aquella

estructura de dependencia que mejor exprese el tipo de relación existente entre los componentes, es decir tratará de obtener (si es posible) una relación funcional entre los componentes:  $y = f(x)$ , en el caso bidimensional, o  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_{k-1})$ , en el caso  $k$ -dimensional, se busca minimizar la suma de los cuadrados de errores, siendo una de las 3 aplicaciones más importantes de la regresión: la predicción. (Hernandez, 2012).

La selección de un método de validación está determinada en la identificación de los requisitos específicos en las que dependerá si el método es cualitativo o cuantitativo y de las técnicas que vayan a usarse (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2010).

La validación comienza con un enunciado que tiene un propósito específico con el cual se interpretan los resultados de la prueba, con una relevancia de interpretación racional en relación con el uso propuesto, la interpretación propuesta se refiere a los propósitos que la prueba pretende medir (Sociedad de Psicología Industrial y de las Organizaciones, Inc., 2003).

#### **2.2.14 Metodología regresión lineal**

El análisis de Regresión Lineal, existen valores supuestos o premisas que deben ser considerados al momento de determinar la validez de un modelo, ya que el no cumplimiento de alguno de estos valores supuestos podría conducirnos a modelos inestables, de ser el caso, un valor alto del estadístico  $R^2$  o  $R^2$  ajustado no garantiza que el modelo se ajuste bien a los datos. Entre los principales supuestos que se realizan está: la distribución del error normal con media 0 y varianza  $\sigma^2$  constante, en dicho caso la no correlación de los errores y la relación no lineal entre las variables de explicación. Por otra parte, los estadísticos de resumen como t, F o  $R^2$ , los Coeficientes de Regresión y la Media Cuadrática del Error son sensibles a la presencia de valores aberrantes o atípicos. (Buenaño C y De la Cruz C, 2020)

#### **2.2.15 Tecnología Sous-Vide**

El método Sous-Vide consiste en envasar las muestras al vacío, empleando bolsas de plástico termorresistentes, a estas muestras se les aplica temperaturas controladas, controlar la temperatura exacta ofrece más opciones de cocción que los métodos tradicionales, cocinar en bolsas herméticamente cerradas prolonga la vida útil y mejora el sabor conservando los nutrientes del alimento (Baldwin, 2012)

Sous-Vide es un método que incluye tecnologías de barrera como envasar al vacío y aplicar el shock térmico, cuando un alimento es tratado con altas temperaturas y es enfriado

rápidamente para ser almacenado a 4 °C durante horas o días, esto depende de la naturaleza del alimento, con el Sous-vide los alimentos en bolsas son sometidas a temperaturas de cocción en un baño de agua y no en un horno de convección de vapor (Schellekens, 1996)

#### **2.2.16 Origen de la tecnología Sous-Vide**

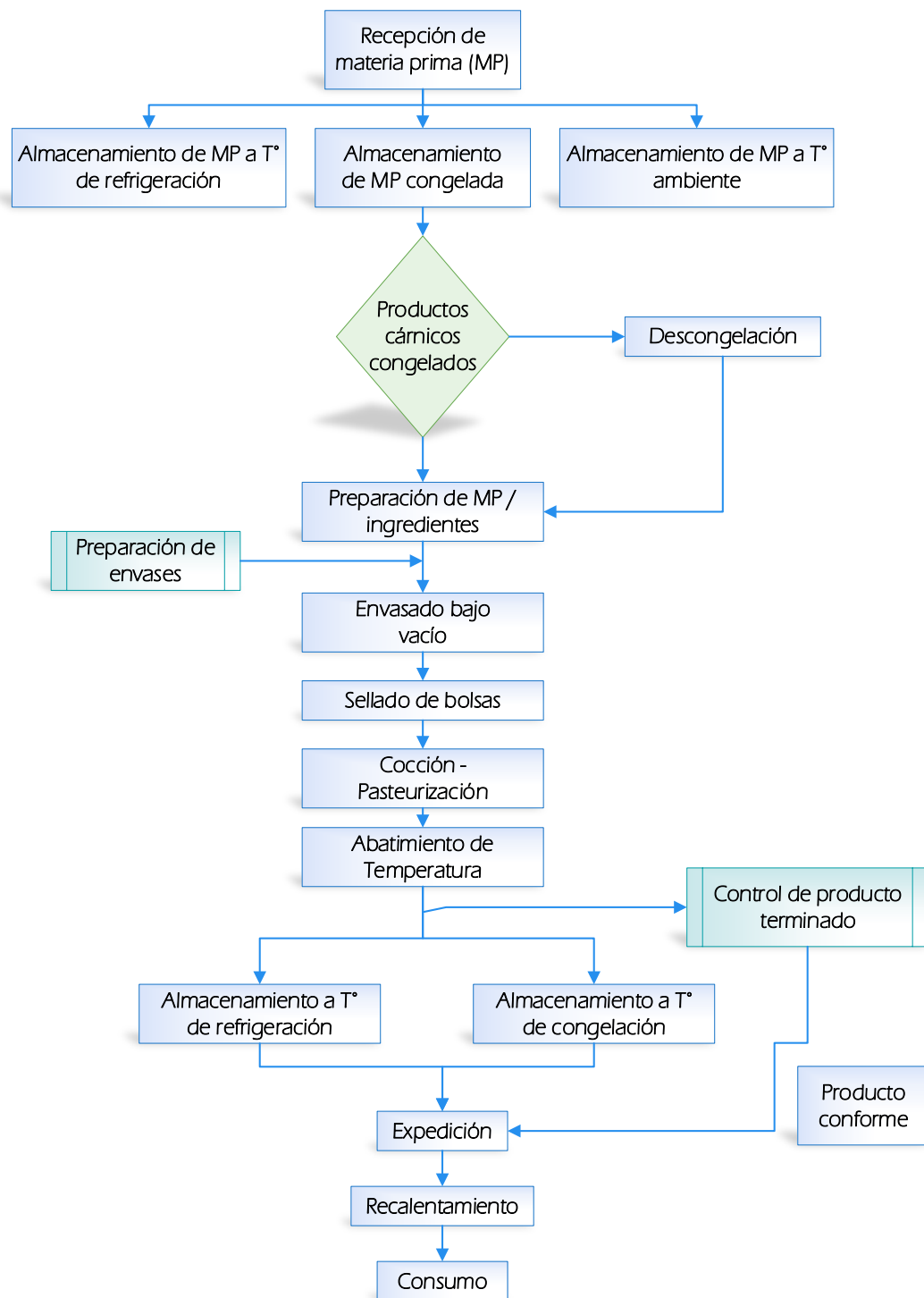
Su origen del método Sous-Vide data de 1974 con el experimento realizado por el chef Francés George Pralus para reducir las mermas en la cocción del plato típico Francés foie gras; Pralus envaso al vacío el alimento en bolsas herméticamente cerradas y las sumergió en un baño de agua a una temperatura de cocción controlada, observó que las pérdidas se reducían de 40% a un 5%, además que las características organolépticas de olor y sabor, incluyendo la textura mejoraron significativamente (Andrade y Ayora, 2017)

#### **2.2.17 Definición de Sous-Vide**

Sous-Vide proviene del término Francés que significa “al vacío” y Sous-vide se define como: materias primas o materias primas con alimentos intermedios que se cocinan en condiciones controladas de temperatura y tiempo dentro de bolsas al vacío termoestables (Schellekens, 1996).

La cocción al vacío es un método para producir alimentos listos para consumo, para método de cocción, los alimentos crudos se sellan herméticamente al vacío en una bolsa de plástico termoestables y de grado alimentario, luego se cocina en un baño de agua a una tiempo y temperatura controlado (Baldwin, 2012).

En comparación con el método de cocción convencional, la cocción al vacío puede crear rasgos de calidad de carne más uniformes y mejorar las características organolépticas en una variedad de tipos de carne, especialmente cortes de carne más duros (Baldwin, 2012; Roldan *et al.*, 2014).



**Figura N° 1:** Diagrama de flujo de proceso de cocción Sous-Vide.

FUENTE: Parzanese, (2017)

## 2.2.18 Tiempo y temperaturas de algunos productos alimentarios bajo proceso de cocción Sous-Vide

En la Tabla 1 se muestra los efectos de diferentes combinaciones de temperatura y tiempo de cocción Sous-vidé.

**Tabla 1:** *Tiempos y temperaturas de cocción Sous-Vide de alimentos.*

PRODUCTO	T (°C)	TIEMPO	PRODUCTO	T (°C)	TIEMPO
Aguja de cerdo	65 °C	16h	Magret de pato	65 °C	50'
Carré de cordero	60 °C	35'	Manitas de cerdo	80 °C	18h
Carrillera de cerdo	80 °C	8h	Mollejas de ternera	82 °C	8h
Carrillera de ternera	80 °C	14-18h	Morro - oreja de cerdo	80 °C	18h
Chateaubriand	60 °C	45'	Muslo de pato	80 °C	8-10h
Chuleta de cerdo	65 °C	1h	Muslo de pavo	75 °C	4h
Cochinillo entero	80 °C	12h	Muslo de pichón	80 °C	2h 30'
Codillo de cerdo	80 °C	10h	Muslo de pollo	80 °C	2h
Codorniz rellena	65 °C	1h	Muslo de pularda	68 °C	1h
Conejo	80 °C	1h	Paletilla de cabrito	80 °C	10h
Conejo en terrina	74 °C	12h	Paletilla de cordero	80 °C	18h
Corazón de ternera	80 °C	24h	Paletilla de cordero	75 °C	7h
Costilla de cerdo	80 °C	18h	Panceta de cerdo	80 °C	10h
Costilla de ternera	70 °C	12h	Papada de cerdo	80 °C	18h
Cuello de cordero	80 °C	16h	Pechuga de pichón	65 °C	15'
Escabeche de codorniz	90 °C	3h	Pechuga de pollo	65 °C	35'
Foie gras	65 °C	30'	Pechuga de pollo de caserío	65 °C	50'
Guiso de buey	80 °C	16h	Pechuga de pularda	62 °C	1h 30'
Hamburguesa	65 °C	25'	Pularda	62 °C	1h 30'
Hígado de ternera	65 °C	1h	Rabo de cerdo	82 °C	8h
Jarrete de ternera	80 °C	16h	Rabo de toro	82 °C	8h
Lengua de ternera	90 °C	8h	Riñones de ternera	85 °C	1h 30'
Magret de canetón	65 °C	25'	Solomillo (azul) - 220gr 4 cm	70 °C	8'
Solomillo (muy hecho) - 220gr 4 cm	70 °C	20'	Solomillo (poco hecho) - 220gr 4	70 °C	10'
Terrina de bacon y costillas de conejo	65 °C	12'	Solomillo (al punto) - 220gr 4 cm	70 °C	15'

FUENTE: Bıyıklı *et al.*, (2020)

### **2.2.19 Beneficios del método Sous-Vide**

El empleo de bajas temperaturas y tiempos prolongados en el método de cocción Sous-Vide evita los daños ocasionados por el empleo de altas temperaturas de los métodos tradicionales, al mismo tiempo obteniendo alimentos con una textura suave y con un olor y sabor más agradable (Díaz, 2009).

Castro (2001), menciona que el método de cocción Sous-Vide ayuda a la retención de ácidos grasos insaturados, ya que envasado al vacío, se minimiza la oxidación de lípidos y reduciendo la formación de compuestos secundarios, por lo tanto, la proporción de ácidos grasos poliinsaturados en los alimentos se mantiene en un nivel alto, superior al tradicional.

### **2.2.20 Desventajas del método Sous-vide**

La cocción Sous-vide provoca la formación de algunos compuestos químicos que afectan negativamente a la salud humana, uno de estos compuestos químicos es la formación de aminas aromáticas heterocíclicas (HCA). La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) considera que algunos de los HCA como posibles carcinógenos humanos (Sánchez *et al.*, 2012)

Las concentraciones de HCAs dependen del tipo de carne, duración de la cocción, las temperaturas de cocción, utensilios de cocina, pH, actividad de agua, hidratos de carbono, aminoácidos libres y creatina. Además, se ha determinado que la transferencia de calor y masa, lípido, la oxidación de lípidos y antioxidantes tienen efectos sobre la acumulación de HCA.

### **2.2.21 Carne**

El concepto de “carne” de manera general se refiere al músculo comestible de todas las partes del cuerpo del animal de abastos que se usa como alimento para el ser humano, como son los bóvidos, óvidos, suidos, caprinos, equinos y camélidos que se encuentren en condiciones salubres (Pagador, 2012)

### **2.2.22 Carne de alpaca**

La alpaca (*Vicugna pacos*) con hábitat natural en zona alto andinas del Perú, Bolivia, Argentina y Chile, es un camélido que se cría principalmente para aprovechar su fibra y en segundo lugar su carne, se conoce que este animal fue domesticado mucho más antes de la llegada de los españoles a América, incluso más antes de la civilización incaica (Vigo, 2014)



### **2.2.23 Composición fisicoquímica de la carne de alpaca**

Collazos, Alvistur, Alvistur, y Vásquez, (1996) Indican que la composición de la carne de alpaca en 100 gr de porción comestible contiene, una humedad de 73.9% seguido de la proteína con un 24.1%, grasa 0.5% y cenizas de 1.2%.

La carne de alpaca generalmente es consumida en su forma fresca y forma deshidratada, en su forma fresca podemos encontrar un contenido de humedad 72.48%, proteína 21.8%, grasa 7.20% y cenizas un 2.12 %, en cambio en la forma deshidratada tenemos una humedad de 26.70%, proteína 33.39%, grasa 4.52% y cenizas 4.94% (Téllez, 1992)

### **2.2.24 Normas Técnicas Peruanas**

#### **NTP ISO 1442 - CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS: Determinación del contenido de humedad.**

Esta Norma Técnica Peruana establece un método de referencia para la determinación del contenido de humedad en carne y productos cárnicos. (Ver Anexos)

#### **NTP 201.021 - CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de proteínas**

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación del contenido de proteínas en carne y productos cárnicos, a través del contenido de nitrógeno. (Ver Anexos)

#### **NTP 201.016 CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de grasa total. 2a Edición**

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación del contenido de grasa total en carne y productos cárnicos. (Ver Anexos)

#### **NTP 201.022 CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de cenizas**

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación del contenido de cenizas en carne y productos cárnicos. (Ver Anexos)

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO**

Se llevó a cabo un estudio del proceso térmico de cocción sous-vide del músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) en los laboratorios de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca sede Ayabacas Juliaca. Durante la investigación, se realizaron cálculos de difusividad térmica, coeficiente convectivo, calor específico y densidad, así también se realizó los análisis microbiológicos, fisicoquímicos, textura, color y análisis sensoriales en los laboratorios de post cosecha, laboratorios de fisicoquímica I y II, laboratorio de reología y laboratorio de microbiología.

#### **3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

Método experimental - cuantitativo, ya que la información se obtuvo partiendo de los diferentes análisis fisicoquímicos de la carne para posteriormente hacer pruebas experimentales, realizar una simulación de datos mediante software, de esta manera, se realizó el uso de plantillas de cálculo en Excel, uso de sensores para la recolección de datos y programación en Matlab en el procesamiento de imágenes.

#### **3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental para el proceso de determinación, simulación y validación de los parámetros térmicos de difusividad y coeficiente convectivo en el proceso de cocción Sous-Vide en la carne de alpaca (*Vicugna pacos*), se presenta en la siguiente Figura 2.

## Diagrama Experimental de Investigación

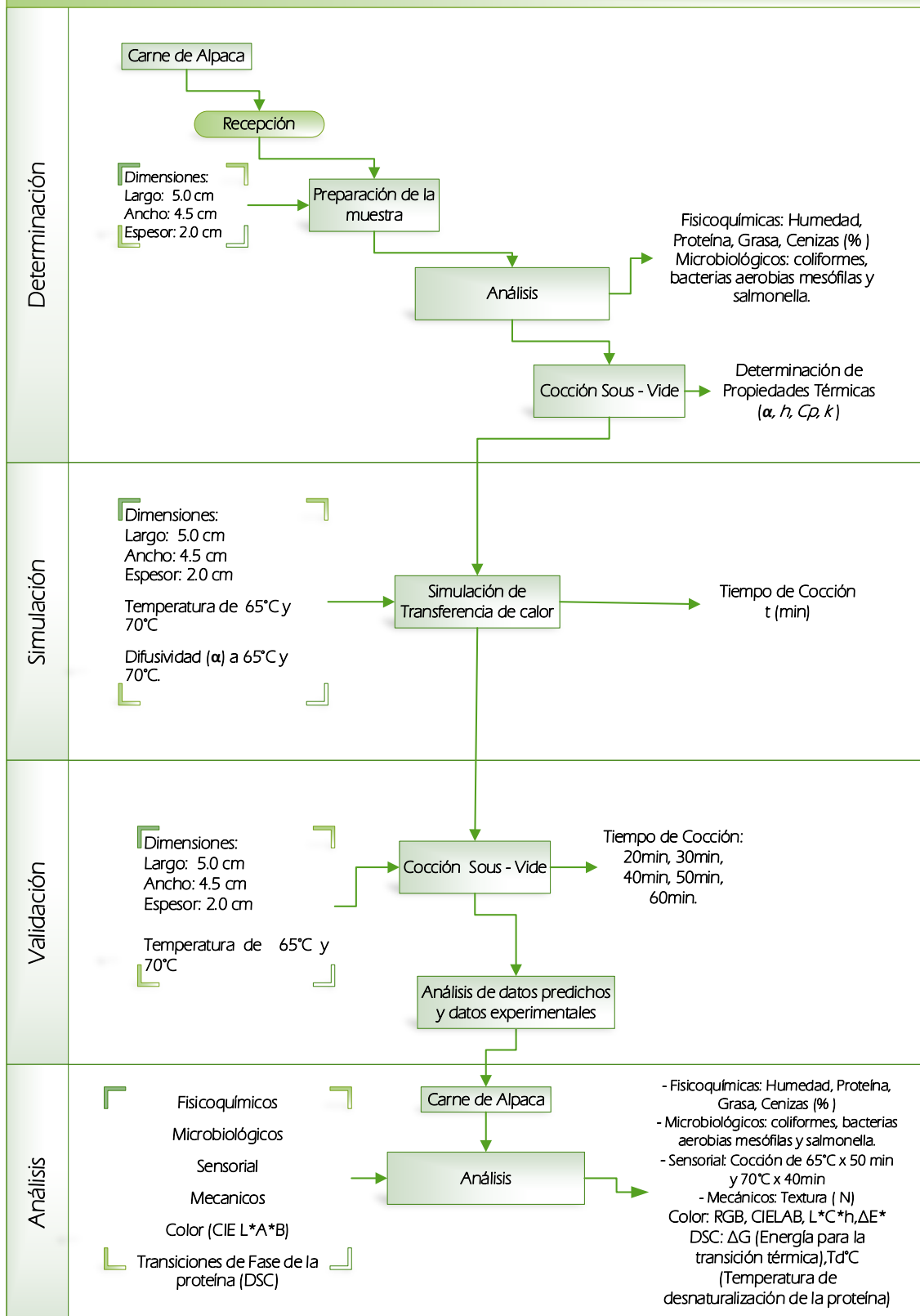


Figura N° 2: Diagrama experimental de investigación.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO GENERAL**

#### **a) Recepción:**

La calidad de los cortes se define por las características sensoriales, principalmente color y textura, estos cortes se mantuvieron a temperatura de refrigeración (0 a 4°C) hasta el proceso en el laboratorio. Se realizó un control en la recepción de pH (5.8 - 6.4) y Temperatura (0 - 4°C) (Bow, Swartz, y Gerard, 2001). Se pesaron aproximadamente 200 +- 50 g de cada corte seleccionado en una balanza analítica calibrada, se retiran las partes gordas, no comestibles, y elementos extraños que puedan afectar la calidad del producto final como partes con pigmentos anormales o hemorrágicos.

#### **b) Preparación de la muestra**

La muestra utilizada en la presente investigación fueron filetes de carne de alpaca (parte pierna) de una geometría laminar similar al de un paralelepípedo con dimensiones de 5.0 y 4.5 cm (ancho, largo) respectivamente, en cuanto al espesor de la muestra fue de 2.0 cm, se aplicó cortes gastronómicos, se detalla los parámetros considerados de las dimensiones de muestra, difusividad térmica, temperatura de cocción y tiempo de cocción.

#### **c) Determinación de propiedades fisicoquímicas**

Se determinó las propiedades fisicoquímicas de la carne de alpaca tales como la humedad, proteína, grasa, cenizas y carbohidratos bajo la metodología de las Normas Técnicas Peruanas en la carne de alpaca fresca y bajo cocción Sous-Vide.

#### **d) Cocción Sous-Vide**

Se realizó una cocción aplicando el método Sous-Vide, el cual consiste en empacar la muestra al vacío en una bolsa termorresistente con la empacadora (Vacuum Sealer), para luego sumergirlo en un baño de agua circulante en la que se empleará el equipo Sous-Vide (Wancle Sous-Vide Cooker), como se muestra en la Figura 3.

#### **e) Simulación de transferencia de calor**

La simulación de transferencia de calor se realizó bajo metodología numérica, considerando los valores hallados en el proceso anterior de cocción tales como: difusividad ( $\alpha$ ), Temperatura (°C), Dimensiones a diferentes espesores para simular el tiempo de cocción (min).

### f) Validación de valores experimentales

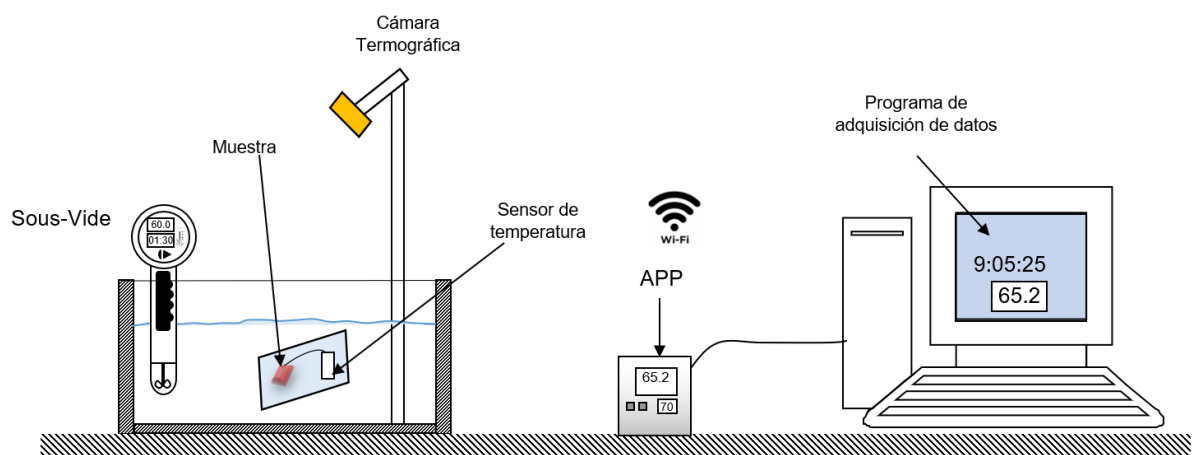
La validación es dada por la aplicación de la metodología de regresión lineal, se realizó una cocción Sous-Vide, acoplado a un sensor de temperatura (DS18B20), cámara termográfica (FLIR ONE GEN 3 – ANDROID (USB-C)) y software de adquisición de datos. Para obtener datos de tiempo y temperatura.

### g) Análisis de textura

Las propiedades mecánicas de la carne de alpaca fresca y bajo cocción Sous-Vide fueron determinados a tiempos de (20min, 30min, 40min, 50min, 60min) en temperaturas de 65°C y 70°C en el Texturómetro INSTRON 34TM-5-SA por fuerza de corte. La cuchilla fue aplicada perpendicularmente a las fibras longitudinales y el pico de fuerza fue determinado por la máxima fuerza durante el corte, con un promedio de 3 repeticiones, para determinar cuál de los tratamientos de cocción en la carne de alpaca presenta mejor respuesta en textura.

### h) Armado de equipo general

En la Figura N° 3 se muestra el esquema general de armado de equipo a utilizar en la presente investigación, que consiste en un circulador de inmersión térmica (Wancle Sous-Vide Cooker 850 Watts /110V), el cual está acoplado a un recipiente con agua en donde se introducirá la muestra de estudio.



*Figura N° 3: Esquema general del armado de equipo.*

### 3.5 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.5.1 Variable independiente

Variables	Indicadores	Índice
Variables Independientes	Temperatura de cocción	(°C)
	Dimensiones	cm
	Tiempo	min

#### 3.5.2 Variable dependiente

Variables	Indicadores	Índice
Variables Dependientes	Parámetros térmicos:	
	▪ Calor Específico (Cp)	kJ/Kg°C
	▪ Conductividad Térmica	W/m°C
	▪ Difusividad Térmica	(m <sup>2</sup> /s)
	▪ Coeficiente convectivo	
	Parámetros fisicoquímicos:	
	▪ Humedad	g/100g
	▪ Proteína	g/100g
	▪ Grasa	g/100g
	▪ Ceniza	g/100g

### 3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS Y PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.6.1 Técnicas o instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 2 se describen los diferentes softwares para la recolección de datos de Tiempo de cocción, Temperatura de cocción, color, textura.

*Tabla 2: Técnicas o instrumentos de recolección de datos.*

DATOS	TÉCNICAS O INSTRUMENTOS
Tiempo de cocción	Sensor de temperatura DS18B20
Temperatura de cocción	Sensor de temperatura DS18B20
Color	Programación en Matlab
Textura	Texturómetro

#### 3.6.2 Materiales

##### a. Materiales y Equipos de laboratorio

- Sous-vide (*Wancle Sous-vide Cooker 850 Watts /110V*)
- Empacadora al vacío (*Vacuum Sealer*)

- Cámara IR (*FLIR ONE GEN 3 - ANDROID USB-C*)
- Sensor de temperatura DS18B20
- Cámara fotográfica
- Texturómetro
- Transformador de corriente
- Servidor de adquisición de datos
- Estufa *VWR™*
- Desecador
- Mortero
- Pinza
- Cápsula
- Balanza analítica *Mettler AB204*
- Bolsas selladoras al vacío
- Tabla de picar
- Cuchillos
- Cocinilla de sulfatación
- Destilador *Kjeltec System*
- Balón Kjeldahl 50 mL y 100 mL
- Bureta de 25 mL
- Pipetas graduadas de 5 o 10 mL
- Probeta de 50 mL
- Papel filtro
- Matraz erlenmeyer 200 mL
- Extractor soxhlet
- Placa calefactora
- Mufla *Furnace 1400*
- Crisoles
- Papel aluminio
- Tubos de Ensayo

**b. Reactivos e insumos**

- Agua destilada
- Reactivo catalizador
- Ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%
- Ácido bórico H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2%

- Indicador tashiro
- Hidróxido de sodio NaOH 40%
- Ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,103N
- N-Hexano

### 3.7 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y COEFICIENTE CONVECTIVO EN EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE Y ANÁLISIS FISCOQUÍMICO INICIAL PARA LA CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*).

Para determinar los parámetros de difusividad térmica y coeficiente convectivo en el proceso de cocción Sous-Vide de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*), primero se realizó un análisis fisicoquímico (humedad, proteína, grasa, ceniza) inicial de la carne de alpaca fresca.

En cuanto la determinación de calor específico (Cp) y conductividad térmica (k), fueron determinados mediante los termogramas de DSC, dichos datos se utilizaron para la determinación de los parámetros de difusividad térmica y coeficiente convectivo de la carne de alpaca en el proceso de cocción Sous-Vide.

#### ❖ Muestras

- Filetes de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) con dimensiones de largo 5.0 cm, ancho de 4.5 cm y espesor de 2.0 cm.

#### ❖ Variables de Estudio

**Tabla 3:** Variables de estudio para la determinación de propiedades fisicoquímicos y térmicos.

Variables	Indicadores	Índice
Variables Independientes	Temperatura de cocción	(°C)
	Dimensiones	cm
	Tiempo	min
Variables Dependientes	Parámetros térmicos:	
	▪ Calor Específico (Cp)	kJ/Kg°C
	▪ Conductividad Térmica	W/m°C
	▪ Difusividad Térmica	(m <sup>2</sup> /s)
	▪ Coeficiente convectivo	
	Parámetros fisicoquímicos:	
	▪ Humedad	g/100g
	▪ Proteína	g/100g
▪ Grasa	g/100g	
▪ Ceniza	g/100g	



### 3.7.1 Análisis fisicoquímico de la carne de alpaca

#### ❖ Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó por desecación en estufa siguiendo la metodología propuesta por la NTP-ISO 1442 (Halffer *et al.*, 2003).

- Limpiar la cápsula y llevarla para su esterilización al secador por aproximadamente 2 horas, dejar enfriar en desecador por un tiempo de 30 minutos.
- Pesar 5,00 g de la muestra (húmeda) si es necesario reducir su tamaño en el mortero.
- Colocar la muestra en la cápsula cuidadosamente sin tocarla con las manos (usar las pinzas).
- Pesar la cápsula con la muestra (húmeda) y llevarla al secador por 24 horas a 100 °C. Retirar la cápsula con la muestra y llevarla al desecador por 2 horas.
- Pesar la muestra, repetir este último paso hasta que el peso de la muestra sea constante.

#### Cálculo

$$\boxed{\%Humedad = \frac{M_H - M_S}{W} \cdot 100} \dots\dots\dots(3)$$

Dónde:

$M_H$  = Peso de la cápsula + muestra húmeda (g)

$M_S$  = Peso de la cápsula + muestra seca (g)

$W$  = Peso de la muestra húmeda (%)

#### ❖ Determinación de proteína

Se siguió la metodología sugerida en la NTP 201.021 (Halffer *et al.*, 2003). El método Kjeldahl, es el método patrón para determinar las proteínas de la muestra se descompone con ácido sulfúrico concentrado en caliente transformándose el nitrógeno de la muestra en sulfato de amonio. La solución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio al 40%. El amoniaco liberado se destila y finalmente titular. Calculándose luego el contenido presente en el que se multiplica por el factor 6,25 y se obtiene el valor de la proteína bruta.

El método de Kjeldahl consta de las siguientes etapas:

- i) Digestión  $Proteína + H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + (NH_4)_2SO_4 + SO_2$
- ii) Destilación  $(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + NH_3 \uparrow + H_2O$   
 $NH_3 + H_3BO_3 \rightarrow NH_4H_2BO_3$
- iii) Titulación  $NH_4H_2BO_3 + H_2SO_4 \rightarrow H_3BO_3 + (NH_4)_2SO_4$

### ***Digestión:***

- Secar los balones de 50 ml en la estufa
- Pesar 0,1 g de muestra en papel filtro
- Colocar las muestras en el balón kjeldahl
- Agregar 1,00 g de reactivo catalizador
- Agregar 2,5 mL de ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%
- Llevar a la cocción de sulfatación por 3 horas.

### ***Destilación de proteínas:***

- En el matraz erlenmeyer agregar 5 mL de ácido bórico y 2 mL de indicador Tashiro.
- En el balón kjeldahl de 50 mL agregar 5 ml de agua destilada después verter el contenido al balón de 100 mL.
- Agregar 15 mL de NaOH al 40% al balón kjeldahl
- Llevar al equipo destilador *Kjeltec System 1002 Destilling Unit*
- Una vez que el indicador Tashiro y ácido bórico cambian a color verde oscuro esperar 3 minutos para detener el proceso de destilación y llenar con el vapor aproximadamente hasta 150 mL.
- Titular la muestra en el matraz erlenmeyer con ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,103N hasta el viraje a color inicial violeta. Dependiendo del tipo de muestra multiplicar por uno de los siguientes factores:

***Tabla 4: Factores de conversión de proteína.***

ALIMENTO	% N	FACTOR (F)
Huevo o carne	16,0	6,25
Leche	15,7	6,38
Trigo	18,76	5,33
Maíz	17,70	5,65
Avena	18,66	5,36
Soya	18,12	5,52
Arroz	19,34	5,17

FUENTE: Nielsen, (2003)

### **Cálculo**

$$\%N = \frac{(V_{g \text{ H}_2\text{SO}_4}) \cdot (N_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \cdot \text{meqN} \cdot 100}{W_m} \cdot F \dots\dots\dots(4)$$

*Dónde:*

%N = Cantidad de nitrógeno expresado en %.

$V_g \text{ H}_2\text{SO}_4$  = Volumen de gasto (mL)

$N \text{ H}_2\text{SO}_4$  = Normalidad del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (meq/L)

$W_m$  = Peso de muestra (g)

meq N = (g/meq)

### **❖ Determinación de grasa**

Se realizó por medio del extractor soxhlet basado en la NTP 201.016 (Halffter *et al.*, 2003)

La determinación se llevó a cabo sobre una muestra previamente deshidratada en estufa para eliminar su contenido en agua.

- Limpiar el balón con agua destilada.
- Colocar una cantidad de 4,00 g en el papel filtro envolver y colocar en la parte central del aparato soxhlet.
- Pesar el balón.
- Colocar el balón en el aparato soxhlet.
- Colocar en el balón 10 a 15 mL de N-hexano y extraer a reflujo por 4 horas
- Calentar la estufa hasta 100°C y colocar el balón para eliminar los restos de solvente.
- Enfriar el balón y colocarlo en el desecador luego pesarlo una vez frío.
- Repetir el calentamiento hasta que haya una cantidad constante de materia.

### **Cálculo**

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_g - P_s}{m_g} \cdot 100 \dots\dots\dots(5)$$

*Dónde:*

%Grasa = Cantidad de material graso expresado en %.

$P_g$  = Peso del balón + material graso (g)

$P_s$  = Peso del balón + material graso llevado a secado (g)

$m_g$  = Peso de muestra del material graso (g)

### ❖ **Determinación de ceniza**

Se determinó por medio de la calcinación en mufla siguiendo la metodología de la NTP 201.022, (Halffter *et al.*, 2003)

- Limpiar los crisoles con agua destilada previamente.
- Pesarse 5,00 g de la muestra (húmeda) si es necesario reducir su tamaño en el mortero.
- Colocar la muestra en la cápsula cuidadosamente sin tocarla con las manos (usar las pinzas).
- Pesarse la cápsula con la muestra (húmeda) y llevarla al secador por 24 horas a 100 °C.
- Retirar la cápsula con la muestra y llevarla al desecador por 2 horas.
- Pesarse la muestra, repetir este último paso hasta que el peso de la muestra sea constante.
- Pesarse el crisol.
- Colocar 2,00 g de la muestra desecada y se le coloca en el crisol, en este procedimiento no se debe tocar el crisol (usar las pinzas).
- Cubrir el crisol con papel aluminio.
- Calentar la mufla a 500 ó 550°C, una vez calentado a esta temperatura colocar cuidadosamente con la pinza el crisol dentro de la mufla.
- Dejar en la mufla por 3 horas, luego retirar el crisol cuidadosamente con la pinza y llevarla al desecador y dejarla por 1 hora.
- Pesarse el crisol que contiene cenizas, y anotar los datos.

#### ***Cálculo***

$$\boxed{\%Cenizas = \frac{P_c - P}{W} \cdot 100} \dots\dots\dots(6)$$

*Dónde:*

% Cenizas = Cantidad de cenizas de la muestra expresado en %.

P<sub>c</sub> = Peso del crisol + peso de la muestra (g)

P = Peso del crisol + material sacado de la mufla (g)

W = Peso de la muestra (g)

### **3.7.2 Determinación de calor específico (C<sub>p</sub>) y conductividad térmica (k)**

Para el cálculo de C<sub>p</sub> y k se utilizó el modelo empírico propuesto por (Singh y Heldman, 2009) que permite calcular el valor de las propiedades termo-físicas con las ecuaciones siguientes ecuaciones:

$$C_p = 4.180X_{agua}^m + 1.547X_{proteina}^m + 1.672X_{grasa}^m + 1.42X_{CHO}^m + 0.836X_{cenizas}^m \quad (7)$$

Donde:

$X_{agua}^m$  : Fracción másica del agua dentro de la muestra

$X_{proteina}^m$  : Fracción másica de la proteína dentro de la muestra

$X_{grasa}^m$  : Fracción másica de la grasa dentro de la muestra

$X_{CHO}^m$  : Fracción másica de los carbohidratos dentro de la muestra

$X_{cenizas}^m$  : Fracción másica de cenizas dentro de la muestra

$$k = 0.25X_h + 0.155X_p + 0.16X_f + 0.135X_a + 0.58X_w \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

$X_h$  : Contenido de Carbohidrato

$X_p$  : Contenido de Proteína

$X_f$  : Contenido de Grasa

$X_a$  : Contenido de Ceniza

$X_w$  : Contenido de Agua

### 3.7.3 Estimación del coeficiente convectivo (h)

Se realizó el cálculo del coeficiente convectivo a partir de las siguientes ecuaciones:

#### ❖ Número de reynolds

El número de Reynolds se define como la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. Nos permite distinguir los distintos tipos de régimen en los flujos. (Modon, 2017)

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

NRe=Numero de Reynolds

Da= Diámetro del impulsador (m)

N=Velocidad de rotación (rps)

ρ=Densidad del fluido (Kg/m3)

μ=Viscosidad del fluido

#### ❖ Numero de prandtl

El Numero de Prandtl describe el espesor de la capa limite hidrodinámica en comparación con la capa limite térmica, se puede definir como la relación de la difusividad molecular del momento a la difusividad molecular de calor (Singh y Heldman, 2009)

$$N_{Pr} = \frac{\mu c_p}{K} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

$N_{Pr}$ =Numero de Prandtl

$C_p$ =Calor especifico (KJ/kg°C)

$k$ =Conductividad Térmica (W/m°C)

❖ **Número de nusselt**

El Numero de Nusselt se define como la mejora de la tasa de transferencia de calor causada por convección sobre el modo de conducción, es decir, si el  $N_{Nu}$  es 1 significa que no hay mejora sobre la tasa de transferencia de calor por la conducción, pero, si el  $N_{Nu}$  es 5 significa que la tasa de transferencia de calor es 5 veces mayor gracias al movimiento del fluido (Singh y Helman, 2009)

$$N_{Nu} = 1.86(N_{Re} * N_{Pr} * d_c)^{0.33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

$N_{Nu}$ =Numero de Nusselt

$d_c$ =Diámetro equivalente de envase (m)

$\mu_b$ =Viscosidad del agua a  $T_{inicial}$  (°C) (Pa.s)

$\mu_w$ =Viscosidad del agua a  $T_{final}$  (°C) (Pa.s)

❖ **Coefficiente convectivo (h)**

El coeficiente convectivo de transferencia de calor es usado para cuantificar la tasa de transferencia de calor convectiva hacia la superficie de un objeto, a medida que el movimiento del fluido sea más rápido, mayor será la transferencia de calor convectiva. (Singh y Helman, 1998)

$$h = \frac{N_{nu}k}{d_c} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

$h$ = Coeficiente Convectivo (W/m<sup>2</sup>°C)

❖ **Numero de biot**

El número de Biot representa la relación entre la resistencia conductiva interna y la resistencia convectiva externa a la transferencia de calor. (Schellekens, 1996)

$$Bi = \frac{hs}{k} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

$Bi$  =Numero de Biot

$s$ = punto centro de la carne (m)

### 3.7.4 Estimación de la difusividad térmica ( $\alpha$ )

Cálculo de la difusividad a partir de la región en la cual es suficiente un sumando de cada sumatorio infinito.

$$\frac{T(0,0,0,t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = Ln(Y) \dots\dots\dots(14)$$

Ajuste lineal de los datos experimentales y cálculo de la difusividad a partir de la recta obtenida.

$$Pendiente = -\alpha(\lambda_x^2 + \lambda_y^2 + \lambda_z^2) \dots\dots\dots(15)$$

Utilizando la siguiente ecuación para el cálculo de la difusividad térmica:

$$\alpha = Pendiente + (\lambda_x^2 + \lambda_y^2 + \lambda_z^2) \dots\dots\dots(16)$$

## 3.8 SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN SOUS-VIDE MEDIANTE EL MÉTODO DE ERROR DE SUMA DE CUADRADOS.

### 3.8.1 Simulación de temperaturas y tiempos de cocción Sous-vide.

Con los datos de difusividad térmica y coeficiente convectivo, determinados en el primer objetivo se realizó una simulación de transferencia de calor, la cual trabaja a una temperatura de 65°C y 70°C para obtener los valores de difusividad a 5 diferentes tiempos de cocción, dicha simulación se trabajó con una programación en Microsoft Excel 4.0 por su facilidad de manejo de datos en el uso del Visual Basic que agiliza y simplifica la creación de aplicaciones, ya que se empleó un método analítico mediante ecuaciones descritas por diferentes autores ya mencionados.

Para la simulación de datos de temperatura y tiempo de cocción Sous- Vide, donde se determinó el tiempo de cocción, con el comando "Buscar Objetivo" de Excel utiliza el método de aproximación iterativa llamado Método de Newton-Raphson, que es un método numérico utilizado para encontrar soluciones a ecuaciones no lineales. A través de una serie de iteraciones, el método se acerca a una solución al problema hasta que se alcanza una precisión suficiente. En resumen, el comando "Buscar Objetivo" de Excel utiliza un método numérico para resolver un problema matemático y encontrar una solución numérica.

❖ **Parámetros considerados en la simulación.**

Como modelo de simulación del proceso de cocción Sous-Vide, se utilizaron diferentes parámetros para estimar el tiempo de cocción. Uno de los factores más importantes a considerar es la difusividad térmica del alimento, que es la velocidad a la que el calor se transmite a través de un alimento, que es calentado o enfriado durante un tiempo determinado, y viene expresada en m<sup>2</sup>/s.

En este caso, los parámetros utilizados para la simulación del tiempo de cocción Sous-Vide son la difusividad térmica en temperaturas de cocción de 65°C y 70°C, que se determinaron previamente. Además, se consideraron diferentes espesores de la carne, que varían desde 2,0 cm hasta 4,0 cm.

La selección de estos parámetros es importante porque el tiempo de cocción varía según la temperatura, el espesor y otros factores. La simulación puede ayudar a determinar el tiempo óptimo de cocción para diferentes tipos de alimentos, lo que puede mejorar la calidad del producto final.

Mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{LI} = \frac{4}{\pi} \exp\left(-\alpha \frac{\pi^2 t}{4l^2}\right) \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

$Y_{LI}$  = Fuerza impulsora reducida de una lámina infinita

$\alpha$  = Difusividad térmica, (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)

$t$  = Tiempo (seg)

$l$  = Espesor de carne (mm)

**3.8.2 Validación de tiempos de cocción Sous-vide mediante el método de suma de cuadrados.**

El modelo matemático es validado comparando los tiempos obtenidos por simulación con los tiempos de cocción en el centro geométrico experimentales que se realizan en esta parte del proyecto. Estas comparaciones se realizarán teniendo en cuenta el valor de la difusividad térmica de transferencia de calor que arrojará el mínimo error medio relativo (Lespinard, 2007), la temperatura de trabajo seguirá siendo la de 65°C y 70°C, los espesores también se mantendrán de acuerdo con la Tabla N° 4.

La validación de los tiempos de cocción Sous-vide es un proceso importante para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad de los alimentos. El método de suma de cuadrados es



una técnica estadística que se puede utilizar para validar los tiempos de cocción Sous-vide (Botinestean *et al.*, 2021).

El método de suma de cuadrados implica medir la variabilidad en los tiempos de cocción Sous-vide y compararla con un valor objetivo. Para realizar este análisis, se deben seguir los siguientes pasos:

- i. Establecer un valor objetivo para el tiempo de cocción. Este valor puede basarse en la recomendación del fabricante, en la experiencia previa o en la literatura científica.
- ii. Realizar varias cocciones utilizando el tiempo objetivo establecido y medir la temperatura del agua en el baño de agua. Registrar el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura objetivo y cuánto tiempo se mantiene la temperatura objetivo.
- iii. Registrar los tiempos de cocción reales y calcular la variabilidad en los tiempos de cocción.
- iv. Utilizar la técnica de suma de cuadrados para calcular la varianza de los tiempos de cocción. La suma de cuadrados se refiere a la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados con respecto al valor objetivo.
- v. Comparar la varianza calculada con una varianza crítica. Si la varianza calculada es menor que la varianza crítica, se considera que los tiempos de cocción son precisos y que el proceso es reproducible.

En resumen, el método de suma de cuadrados es una técnica estadística que se puede utilizar para validar los tiempos de cocción Sous-vide. Este método implica medir la variabilidad en los tiempos de cocción y compararla con un valor objetivo para determinar si el proceso es preciso y reproducible.

#### ❖ Muestras

- Filetes de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) con dimensiones de largo cm, ancho de cm y espesores de 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.0 cm.

#### ❖ Variables de Estudio

*Tabla 5: Variables de estudio para validación del tiempo de cocción.*

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>
Variables independientes	Temperatura de cocción	(°C)
	Espesores	cm
Variables dependientes	Tiempo	min

## ❖ Procedimiento

### a. Cocción Sous-Vide

Las muestras tratadas en dimensiones serán sometidas a un procedimiento experimental de cocción Sous-Vide, para luego analizar los datos obtenidos experimentalmente con los datos obtenidos en la simulación.

### b. Análisis de datos simulados y datos experimentales

*Tabla 6: Suma de cuadrados en variabilidad de residuos, regresión y total.*

SUMA DE CUADRADOS		
VARIABILIDAD	FORMULA	RELACION
<b>Residuos</b>	$SCE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2$	$SCE = STC - SCR$
<b>Regresión</b>	$SCR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$SCR = STC - SCE$
<b>Total</b>	$STC = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	$STC = SCR + SCE$

Donde:

STC = Suma total de cuadrados

SCR = Suma de cuadrados de la regresión

SCE = Suma de cuadrados residual

### 3.8.3 Análisis fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y textura, después del proceso de cocción Sous-vide.

## ❖ Análisis Fisicoquímicos

Se realizó un análisis fisicoquímico (humedad, proteína, grasa, ceniza) de la carne de alpaca, después del proceso de cocción Sous-vide, a todos los tratamientos. Este análisis se realizó antes y después del proceso de cocción Sous-vide. Para saber la influencia de esta metodología de cocción moderna sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*)

### ❖ **Análisis microbiológico**

Inicialmente se tomaron muestras de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) crudos y de los tratamientos con el objetivo de determinar el estado microbiológico. Se transfirió asépticamente una muestra de 10 g. a un envase con 90 ml de agua destilada, el homogenizado se preparó utilizando una licuadora, antes de la preparación de diluciones en serie  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  para análisis microbiológico. Las bacterias aerobias mesófilas se determinaron por el método de vertido de placa, en Standar Plate Count Agar incubando las placas a 37 °C durante 48 h; recuento de salmonella e incubando a 37 °C durante 72 h y finalmente, el recuento de coliformes se determinó incubando las placas a 37 °C durante 24 h. Las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como log UFC/g. (Aro *et al.*, 2010)

### ❖ **Análisis sensorial**

Se realizó con un total de 80 panelistas (hombres y mujeres) entre 18 y 40 años. Las muestras fueron cortadas manualmente en piezas cúbicas de  $50 \pm 6$  g con medidas de 25 mm x 30 mm. Las muestras se codificarán con los siguientes códigos (C16050-Tratamiento de cocción de 65°C x 50 min) y (C27040- Tratamiento de cocción de 70°C x 40min).

La evaluación se realizó a temperatura ambiente en el laboratorio de la EPIIA – Sede Ayabacas. A cada consumidor se le proporcionara una ficha o cartilla de evaluación donde se colocaron los atributos y se les pidió indicar la puntuación de las características sensoriales de la carne de alpaca mediante el método CATA. Considerando cinco términos sensoriales relacionados con Apariencia general, Sabor, Ternura, Jugosidad y Color. Además, se les pidió que indiquen la aceptabilidad utilizando una escala hedónica de 1 – 5, considerando que 1-Inaceptable, 2-Poco inaceptable, 3-Me es indiferente, 4-Poco aceptable, 5-Aceptable. Se les proporciono agua de mesa entre cada muestra para limpiar el paladar.

### ❖ **Análisis de textura**

Las propiedades mecánicas de la carne de alpaca se evaluaron, para cada uno de los tratamientos, con un Texturómetro INSTRON 34 TM-5-SA por fuerza de corte. La cuchilla fue aplicada perpendicularmente a las fibras longitudinales y el pico de fuerza fue determinado por la máxima fuerza durante el corte, con un promedio de 3 repeticiones. (Carvajal C, y otros, 2008)

### **3.8.4 Análisis de las transiciones de fase de las proteínas de la carne de alpaca bajo el proceso de cocción sous-vide mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).**

Las propiedades de transición térmica se determinaron usando un DSC2A-01434 (Seiko Instruments) conectado a un controlador de enfriamiento. Dicho análisis se realizó a la carne fresca de alpaca, carne deshidratada y carne cocida, muestra de alrededor de 6.89 – 19.76mg la cual fue encerrada en un recipiente Tzero de aluminio sellado herméticamente y luego se cargaron en el equipo a temperatura ambiente. Se utilizó una cacerola vacía herméticamente sellada como muestra de referencia. La calibración de la celda se realizó siguiendo el DSC recomendación de los fabricantes. Las muestras se calentaron de 20°C a 90°C. y se mantuvieron a esta temperatura durante un tiempo determinado. Los escaneos de calentamiento se realizarán en 10°C / min. Las mediciones de DSC se realizaron por triplicado. Los resultados son presentados como curvas promedio. Energía de transición ( $\Delta G$ ), expresada como W / g de muestra, se calculó a partir del área de pico de las curvas (Balaguer, 2013).

## **3.9 DISEÑO ESTADÍSTICO**

En cuanto al análisis estadístico se consideró un Diseño Completamente al Azar (DCA) para el análisis de los datos y un ANOVA con un valor de significancia de ( $p < 0.05$ ), para la etapa de validación de parámetros térmicos será bajo la metodología de suma de cuadrados la cual representa una medida de variación o desviación con respecto a la media. Se calcula como una suma de los cuadrados de las diferencias con respecto a la media. El cálculo de la suma total de los cuadrados considera tanto la suma de los cuadrados de los factores como la de aleatoriedad o error.

Se elabora una gráfica de dispersión en la que tendremos la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, los parámetros de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  se deben estimar a partir de los datos de la muestra, estos son conocidos como regresores. El ANOVA es un método que nos permite probar si dos o más poblaciones tienen la misma media, su propósito es hacer pruebas para hallar las medias poblacionales en la cual implica realizar exámenes de las varianzas muestrales (Robles, 2000)

## **3.10 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.10.1 Hipótesis general**

- El proceso térmico de cocción por Sous-vide de músculo de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) influye significativamente en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales.

### **3.10.2 Hipótesis específicas**

- Los valores de la difusividad térmica dependen del espesor de muestra de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*).
- La validación de los datos de temperatura y tiempo de cocción Sous-Vide están dadas por el método de error de suma de cuadrados.
- La composición fisicoquímica de Humedad, grasa, proteína y cenizas influyen significativamente en los parámetros de la difusividad térmica y coeficiente convectivo en la carne de alpaca (*Vicugna pacos*).
- Las propiedades térmicas influyen significativamente en las transiciones de fase de las proteínas más importantes de la carne de alpaca mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 PARÁMETROS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y COEFICIENTE CONVECTIVO EN EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICO INICIAL PARA LA CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*).

##### 4.1.1 Análisis Fisicoquímico de la carne de alpaca-fresca

En la Tabla 6 se presenta los resultados promedio y error estándar del porcentaje de humedad, proteína, grasa, cenizas, de la carne cruda (Control) de alpaca (*Vicugna pacos*), donde los valores son los siguientes de la tabla:

**Tabla 7:** Composición química de carne cruda de alpaca (*Vicugna pacos*)

Composición Química Muestra (Control)	%
<b>Humedad</b>	74.47 ± 0.38
<b>Proteína</b>	21.69 ± 0.18
<b>Grasa</b>	2.70 ± 0.09
<b>Cenizas</b>	1.12 ± 0.02

Leyenda: Control: Carne cruda.

La carne de alpaca es altamente proteica conteniendo un  $21.69 \pm 0.18\%$ , un contenido graso de  $2.70 \pm 0.09\%$ , humedad de  $74.47 \pm 0.38\%$  y cenizas  $1.12 \pm 0.02\%$ . Estos valores son semejantes a los determinados por Cristofanelli et al., (2004) cuyos valores en cuanto a la composición química de la carne de alpaca fueron los siguientes: proteína un  $22.7\%$ , un contenido graso de  $2.1\%$ , humedad de  $74.1\%$  y cenizas  $1.1\%$ .

- **Calor Especifico (Cp) y Conductividad Térmica (k)**

En la Tabla 7 se muestra los valores determinados de calor específico (Cp) de 3.508 KJ/Kg °C y conductividad térmica (k) de 0.471 W/m°C.

**Tabla 8: Parámetros térmicos de calor específico (Cp) y conductividad térmica (k)**

<b>Parámetros Térmicos</b>		<b>Unid.</b>
<b>k</b>	0.4713775	W/m°C
<b>Cp</b>	3.5086364	KJ/kg °C

- **Estimación del coeficiente convectivo (h)**

El coeficiente convectivo hace referencia a la tasa o velocidad de transferencia de calor entre la superficie sólida de la carne y el medio de calentamiento (agua) por unidad de diferencia de temperatura. Para ello se realiza un previo estudio considerando la mecánica del fluido; se realizó la determinación del número de Reynolds (Nre) de 970.25, este valor nos indica que el fluido tiene la característica de encontrarse en el estado laminar.

**Determinación de Nre**

		<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid</b>
	Diámetro de impulsador	<b>Da</b>	0.027	m
	Velocidad de rotación	<b>N</b>	1.333	rps
a 20 °C	Densidad del fluido	<b>r</b>	998.2	kg/m <sup>3</sup>
a 20 °C	viscosidad del fluido	<b>m</b>	1.00E-03	pa.s
	<b>Numero de Reynolds</b>	<b>Nre</b>	<b>970.25</b>	

Considerando que el fluido se encuentra en estado laminar se realiza la determinación de Numero de Prandtl (Npr) de  $6.96 \times 10^{-03}$ , para este cálculo se contempló la viscosidad del fluido (agua), calor específico (cp) de agua, conductividad térmica del agua.

**Determinación de Npr**

		<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid</b>
a 20 °C	viscosidad del fluido	<b>m</b>	9.93E-04	Pa.s
a 20 °C	Cp de agua	<b>Cp</b>	4.182	KJ/kg°C
a 20 °C	Conductividad del agua	<b>k</b>	0.597	W/m°C
	<b>Numero de Prandtl</b>	<b>Npr</b>	<b>6.96E-03</b>	

La determinación del número de prandtl es considerado para realizar el cálculo del número de nusselt (Nnu) de 2.28, el cual es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre, esta magnitud será utilizada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección.

<b>Determinación de Nnu</b>			
	<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid</b>
Numero de Reynolds	<b>Nre</b>	970.25	
Numero de Prandtl	<b>Npr</b>	6.96E-03	
20°C	Viscosidad del agua	<b>mb</b>	9.93E-04 Pa.s
60°C	Viscosidad del agua	<b>mw</b>	4.72E-04 Pa.s
<b>Numero de Nusselt</b>		<b>Nnu</b>	<b>2.28</b>

Estas magnitudes son importantes para la determinación del coeficiente convectivo (h), siendo 6.805 W/m<sup>2</sup>°C, donde se considera la velocidad de transferencia de calor así como el aumento de la transmisión de calor en cuanto al fluido que en este trabajo de investigación es el agua en relación con la superficie sólida expuesta en el medio de calentamiento.

<b>Determinación de Coeficiente Convectivo (h)</b>			
	<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid</b>
Conductividad del agua	<b>k</b>	0.597	kg/m3
Numero de Nusselt	<b>Nnu</b>	2.28	
Diámetro de envase	<b>dc</b>	0.2	m
<b>Coefficiente convectivo</b>		<b>h</b>	<b>6.805</b> W/m <sup>2</sup> °C

La relación de las características mecánicas del fluido o medio de calentamiento con la carne es representada por el número de Biot, el cual relaciona la transferencia de calor por conducción dentro de un cuerpo y la transferencia de calor por convección en la superficie de dicho cuerpo.



<b>Determinación de NBi</b>				
		<b>Simbología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid</b>
	Coefficiente convectivo	<b>h</b>	6.805	W/m <sup>2</sup> °C
	Centro de la carne	<b>s</b>	0.0075	m
	Conductividad Térmica (carne)	<b>k</b>	0.471	W/m°C
<b>X</b>	<b>Numero de Biot</b>	<b>Bi(x)</b>	0.144	
<b>Y</b>	<b>Numero de Biot</b>	<b>Bi(y)</b>	0.361	
<b>Z</b>	<b>Numero de Biot</b>	<b>Bi(z)</b>	0.325	

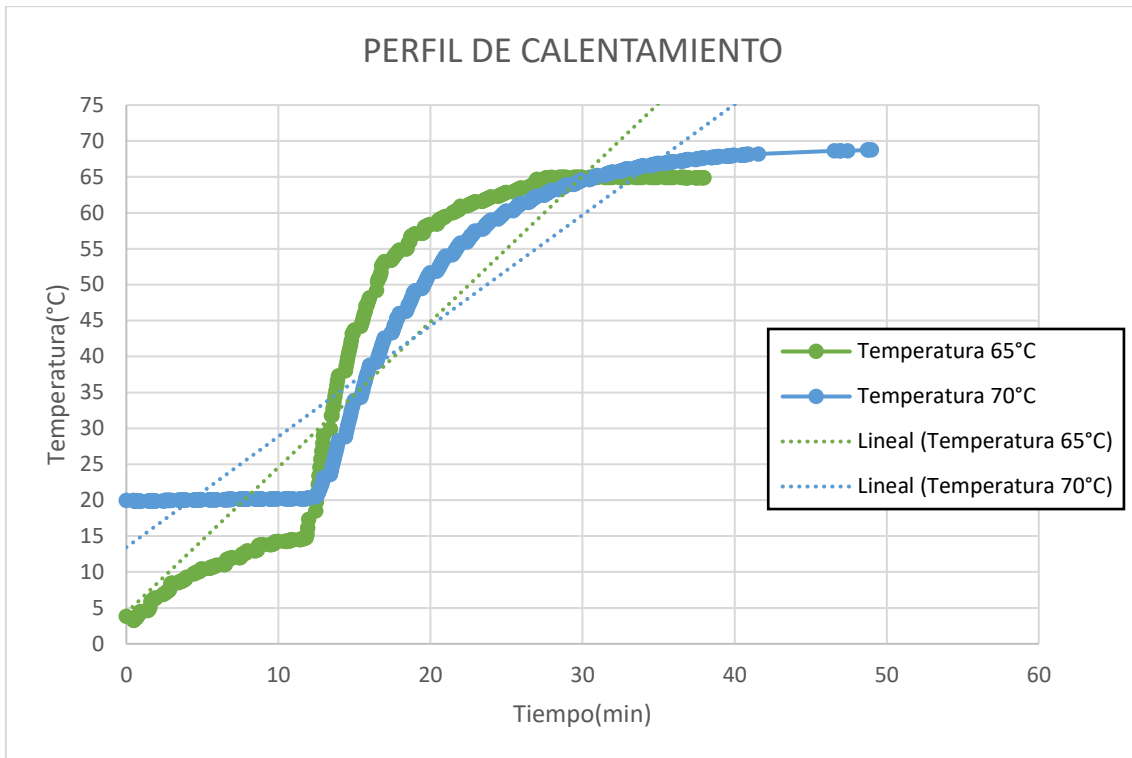
- **Estimación de la difusividad térmica**

En la Tabla 9 se muestran los resultados en cuanto a difusividad, en la Figura 4 el perfil de calentamiento o curva de penetración de calor y en el Figura 5 el ajuste del tramo lineal del ln de fuerza impulsora frente al tiempo para las muestras de carne de alpaca en cocción de 65°C y 70°C.

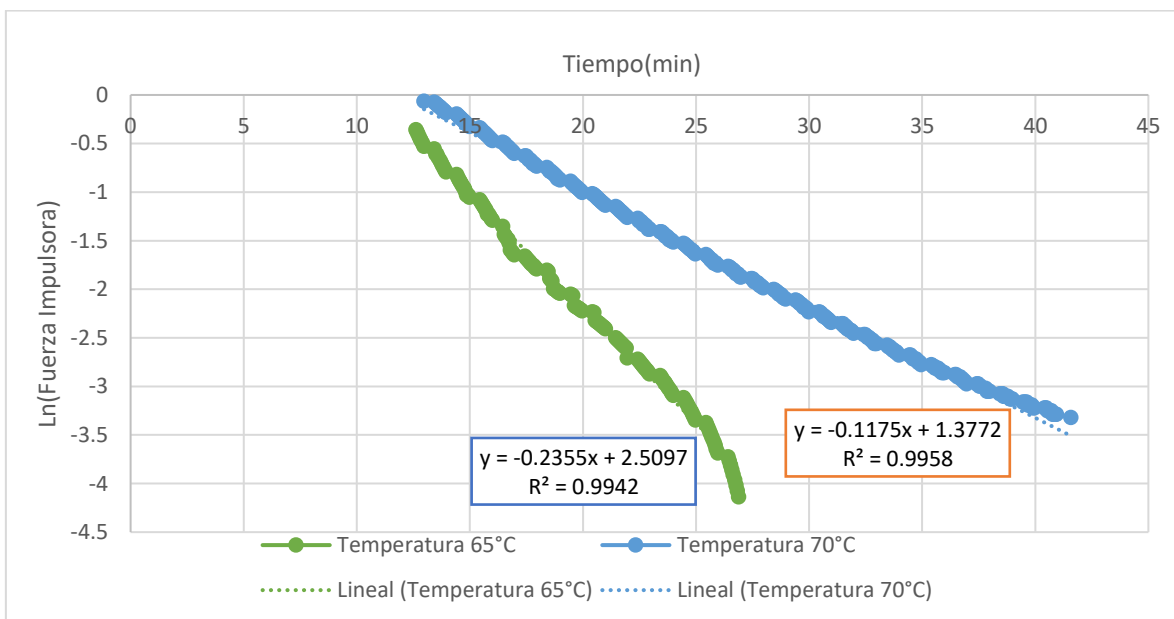
**Tabla 9:** Difusividad térmica de la carne de alpaca en cocción Sous – Vide a temperatura de 65°C y 70°C

	<b>Temperatura</b>	
	65°C	70°C
<b>Pendiente</b>	-0.2355	-0.1175
<b>Difusividad</b>	9.1618E-09 m <sup>2</sup> /s	4.5712E-09 m <sup>2</sup> /s

(Alvis *et al.*, 2012) en el trabajo de investigación que realizaron llamada determinación de propiedades termofísicas de alimentos en función de la concentración y la temperatura empleando un programa computacional, se probó con un trozo de ñame, cuya fracción de peso de proteína, grasa, carbohidratos, fibra, ceniza y humedad, datos experimentales, era de 1.84, 7.66, 36.49, 0.096, 1.07 y 52.844 respectivamente, con una temperatura de 140 grados centígrados. Después de pinchar el botón etiquetado como “Calcular propiedades térmicas”, el programa de computadoras arrojó que la conductividad térmica, la densidad, la difusividad térmica y el calor específico correspondían a los valores de 0.495 W/m°C, 1,45X10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s 1172.19 Kg/m<sup>3</sup>, 0.145 y 3.095 KJ/Kg °C.



**Figura N° 4:** Perfil de calentamiento o curva de penetración de calor.



**Figura N° 5:** Ajuste del tramo lineal del ln de fuerza impulsora frente al tiempo para las muestras de carne de alpaca en cocción de 65°C y 70°C.

(Huamán y Ancco, 2012) en un estudio que realizaron llamado determinación de la conductividad térmica en carne de alpaca (*lamas pacos*) en congelación nos da a conocer los resultados obtenidos de su investigación en el cual indican que los valores de conductividad

térmica varían entre 0,85 y 1,21 W./m°C y en cuanto a la difusividad térmica obtenidos indican que los valores varían entre 8 y  $10 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. Existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los 5 cortes anatómicos, lo que indica que la composición, orientación del músculo, estructura del tejido y humedad influyen directamente en esta propiedad térmica. Los valores son menores a la conductividad térmica de la carne de cerdo, la cual tiene mayor contenido de humedad y grasa. La conductividad térmica alcanza valores entre 0.90 y 1.10 W m<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> existiendo diferencias estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%, entre géneros (machos y hembras) y en cada corte anatómico de carne de alpaca de saca, entonces cada corte anatómico es un parámetro distinto por las propiedades particulares que este posee, esta propiedad es inversamente proporcional a la temperatura, a mayor temperatura menor conductividad térmica y viceversa. Los resultados indican que la composición, orientación del músculo, estructura del tejido y humedad influyen directamente en esta propiedad.

Rodríguez y Ticona (2015), en el trabajo de investigación que realizaron llamado *influencia de la adición de sal y tiempo- temperatura de cocción en la capacidad de retención de agua en la carne de alpaca (Vicugna pacos) utilizando tecnología de cocción bajo vacío*. Indican que trabajaron con 10% de NaCl (1,2% w/w) a las muestras, con excepción de las muestras sin inyección de NaCl y de la muestra convencional, sometieron a tres combinaciones de temperatura-tiempo 86°-28 min, 88°-17 min y 90°C-10 min; analizaron la adición de sal y las combinaciones temperatura-tiempo, como indicador de mayor capacidad de retención de agua; realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos durante 21 días después para asegurar la estabilidad del producto. Así mismo, los valores obtenidos se compararon con la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano, Resolución Ministerial N° 591-2008 - MINSAs – 2008, según el criterio microbiológico X.7. y según el Decreto Supremo N° 007-98-SA y los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos para los Alimentos (CAC/GL-21(1997)) del Codex Alimentarius, según el criterio de carnes y productos cárnicos 10.3. Se determinó, como resultado que la muestra con adición de NaCl al 1.2% y sometida a 86°C/28min, es el que mayor capacidad de retención de agua presenta el cual obtuvo 172,072 mg H<sub>2</sub>O, la cual fue estable durante los 21 días de almacenamiento según sus análisis fisicoquímicos, microbiológicos y evaluaciones sensoriales obtenidas.

(Ochoa *et al.*, 2006) en la investigación propiedades termofísicas de la carne revisión del estado del arte aplico modelos para predecir el comportamiento de las propiedades termofísicas de la carne han sido relacionados, en un alto porcentaje, con su contenido de humedad,

sin embargo, es necesario explorar relaciones que incluyan otros elementos que hacen parte de la composición de la muestra como son: la grasa, la proteína y las cenizas. Adicionalmente es necesario profundizar en el estudio de estas propiedades en temperaturas por debajo de la congelación, ya que en el momento no se dispone de información suficiente y confiable. Se encuentra una alta tendencia a estudiar la carne de bovino y en pocos casos estudiar la carne de cerdo, este material debe ser estudiado con más detalle debido a que en la actualidad es una materia prima importante para las industrias procesadoras de carnes. Es necesario desarrollar modelos particulares para predecir su comportamiento, así como medir los valores en los diferentes intervalos de temperatura.

(Vaudanga,y Lasta, 2001) en su trabajo de investigación llamada; Nuevas herramientas para el procesamiento de cortes de carne, los resultados que obtuvo permiten destacar tres puntos: i) Los tratamientos térmicos utilizados permiten lograr niveles de inactivación de *Listeria monocytogenes* superiores a los recomendados por la legislación internacional si se trabaja con temperaturas iguales o superiores a los 55°C; ii) Las pérdidas por cocción observadas son inferiores al 20% y iii) La terneza del producto mejora al aumentar la temperatura de procesos de 50 a 65°C. Estos resultados demuestran que se dispone de una tecnología, aplicable a diferentes cortes y transferible a la industria, la cual permitirá obtener productos inocuos diferenciados por sus características organolépticas y comerciales (tiernos, de sabor y color agradables y listos para consumir) y con altos rendimientos durante el procesamiento. Los estudios descriptos han permitido también avanzar sobre otras variantes tecnológicas en las que se está trabajando en el ITAINTA. Entre estas se mencionan, el uso de inyección de sales o aditivos alternativos como herramientas para mejorar rendimientos y prevenir, durante el almacenamiento refrigerado, el desarrollo de microorganismos y el deterioro de las propiedades sensoriales del producto.

## **4.2 SIMULACIÓN, VALIDACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPOS DE COCCIÓN.**

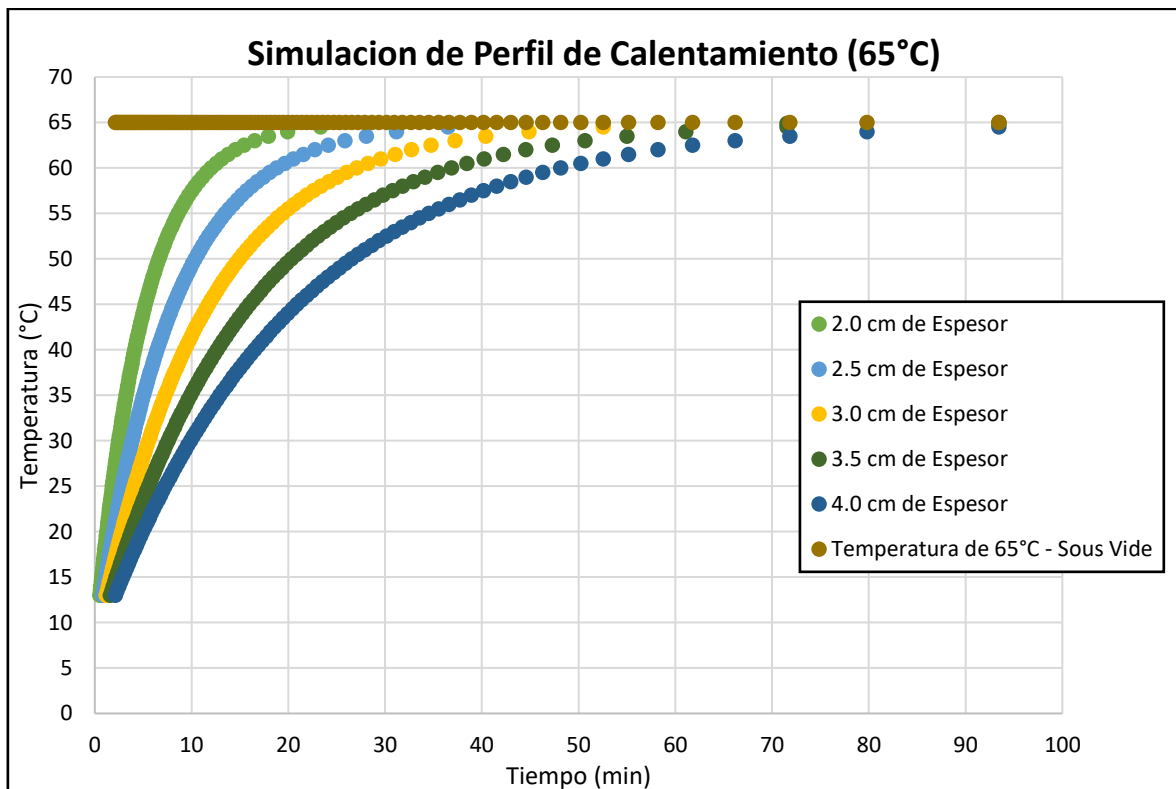
En las simulaciones presentadas en las Figuras 6 y 7, se muestra cómo cambia el tiempo y la temperatura de cocción para cinco espesores diferentes de carne de alpaca a temperaturas de 65°C y 70°C, estas simulaciones se basan en cálculos previamente determinados de la difusividad térmica de  $9.16 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $4.57 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$  a temperaturas de 65°C y 70°C respectivamente; comprendiendo que en un medio de calentamiento la temperatura máxima a considerar siempre será menor al del medio, es por ello que la temperatura del medio cocción considera de 64.5°C y 69.5°C como se describen en las Tablas 10 y 11.

**Tabla 10:** Simulación de datos para cálculo de tiempo de cocción a temperatura de 65°C

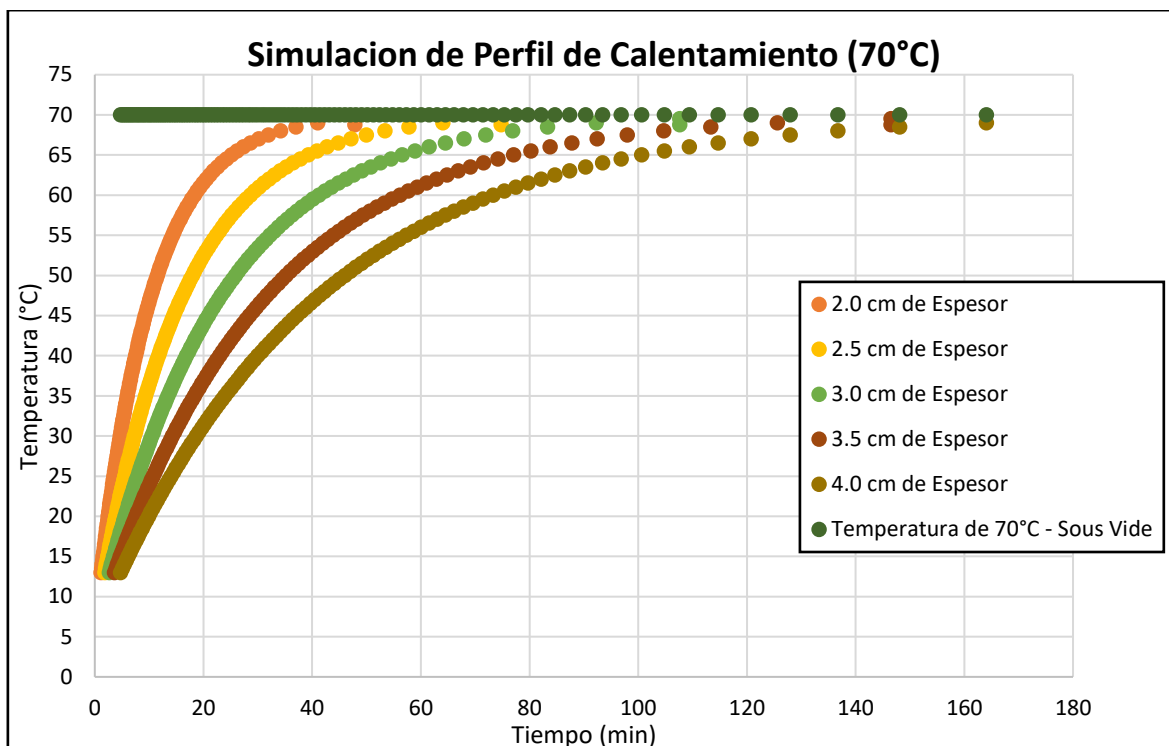
Espesor (cm)	Espesor (m)	Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) m <sup>2</sup> /s	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
2.00	0.02	9.16E-09	64.5	23.3589
2.50	0.025	9.16E-09	64.5	36.4983
3.00	0.03	9.16E-09	64.5	52.5575
3.50	0.035	9.16E-09	64.5	71.5366
4.00	0.04	9.16E-09	64.5	93.4355

**Tabla 11:** Simulación de datos para cálculo de tiempo de cocción a temperatura de 70°C

Espesor (cm)	Espesor (m)	Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) m <sup>2</sup> /s	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
2.00	0.02	4.57E-09	69.5	47.8439964
2.50	0.025	4.57E-09	69.5	74.7562444
3.00	0.03	4.57E-09	69.5	107.648992
3.50	0.035	4.57E-09	69.5	146.522239
4.00	0.04	4.57E-09	69.5	191.375986



**Figura N°6:** Simulación del perfil de calentamiento a temperatura de cocción Sous - Vide de 65°C.



**Figura N°7:** Simulación de perfil de calentamiento a temperatura de cocción Sous - Vide de 70°C.

Así se observa que los tiempos simulados para una cocción Sous-vidé de 65°C de temperatura a un espesor de 2.00 cm el tiempo de cocción será de 23.35 min donde el punto centro de la carne alcanzará una temperatura máxima de 64.5°C según la simulación realizada. También en los tiempos simulados para una cocción Sous-vidé de 70°C de temperatura a un espesor de 2.00 cm el tiempo de cocción será de 47.84 min donde el punto centro de la carne alcanzará una temperatura máxima de 69.5°C según la simulación realizada.

**Tabla 12:** Datos de tiempo de cocción experimental y simulados.

Espesor (cm)	Espesor (m)	Difusividad Térmica ( $\alpha$ ) m <sup>2</sup> /s	Temperatura (°C)	Temperatura Sous-vidé (°C)	Tiempo-Experimental (min)	Tiempo-Simulación (min)
2.00	0.02	4.57E-09	68.75	70.0	48.99	38.82
2.00	0.02	9.16E-09	64.89	65.0	37.93	30.80

Sin embargo, llevando estos datos a validación de una prueba experimental se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 12 donde nos indica que a un espesor de 2 cm de carne de alpaca en un medio de cocción Sous-vidé de 70 °C la temperatura máxima alcanzada en el punto centro de la carne es de 68.75°C donde el tiempo realizado en la prueba experimental es de 48.99 min y el tiempo simulado es de 38.82 min. Por otro lado, en un

medio de calentamiento de 65°C y 2 cm de carne de alpaca, la temperatura máxima alcanzada en el punto centro de la carne es de 64.89°C, donde el tiempo en la prueba experimental es 37.93min y el tiempo simulado es de 30.80 min.

En la Tabla 13 se presenta el ANOVA realizado para los datos de tiempo de cocción Sous-vide de la prueba experimental y el tiempo de cocción de la simulación; donde los resultados nos muestran que no existen diferencia significativa respecto al valor de F, lo cual es menor que el valor crítico F.

**Tabla 13:** Análisis de varianza de tiempo de cocción Sous-vide.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Entre grupos</b>	1054.696666	2	527.348333	<b>4.295</b>	0.132	<b>9.552</b>
<b>Dentro de los grupos</b>	368.371941	3	122.790647			
<b>Total</b>	1423.068607	5				

### **4.3 DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS, SENSORIALES, TEXTURA Y COLOR, DESPUÉS DEL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE.**

#### **4.3.1 Análisis microbiológico**

En la Tabla 8, se pueden observar las unidades formadoras de colonia de coliformes totales respecto a los tiempos de cocción de 20, 30, 40, 50, 60 min. Con temperaturas de 65°C y 70°C, utilizados en la cocción de la carne mediante el método Sous-Vide para los respectivos análisis de recuento de UFC.

En la Tabla 14 se muestran los resultados promedio estándar obtenido del análisis microbiológico de coliformes totales, bacterias aerobias mesófilas y salmonella sp de la carne cruda (control) y los diferentes tratamientos de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) en diferentes tiempos y temperaturas.

Estos valores en relación con las de la NTS 071 del MINSA/DIGESA son menores a la muestra patrón lo que indica que es aceptable y que puede ser apto para consumo humano, así mismo se observa la relación que existe entre el tiempo, temperatura de cocción y el Log

UFC/g que es inversamente proporcional, entendiéndose de esta manera que cuando mayor es la temperatura y el tiempo de tratamiento, el Log UFC/g disminuye y viceversa.

**Tabla 14:** Recuento de UFC en carne de alpaca

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Log UFC/g Coliformes totales</b>	<b>Log UFC/g Bacterias aerobias mesófilas</b>	<b>Log UFC/g Salmonella sp</b>
<b>20</b>	<b>65</b>	0	4±0.01	2±0.08
<b>20</b>	<b>70</b>	0	3±0.01	2±0.05
<b>30</b>	<b>65</b>	0	3±0.01	1±0.13
<b>30</b>	<b>70</b>	0	3±0.01	1±0.07
<b>40</b>	<b>65</b>	0	3±0.01	1±0.16
<b>40</b>	<b>70</b>	0	3±0.01	1±0.21
<b>50</b>	<b>65</b>	0	3±0.01	1±0.13
<b>50</b>	<b>70</b>	0	3±0.03	1±0.15
<b>60</b>	<b>65</b>	0	3±0.02	1±0.24
<b>60</b>	<b>70</b>	0	3±0.03	1±0.17

Es importante resaltar que la carne cumple con la norma sanitaria el cual establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad, dando sus límites de  $10^5 - 10^7$  UFC/g. Según (Baldwin, 2012), la tecnología Sous-vide favorece la inhibición microbiana. En cuanto los resultados de coliformes el cual se realizó en disoluciones de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ , se consideraron como no determinados debido a la ausencia de coliformes, (Sebastián et al., 2009), informa que en el caso de productos cárnicos ya sean en conservas, los coliformes son uno de los mejores microorganismos indicadores en el tratamiento térmico.

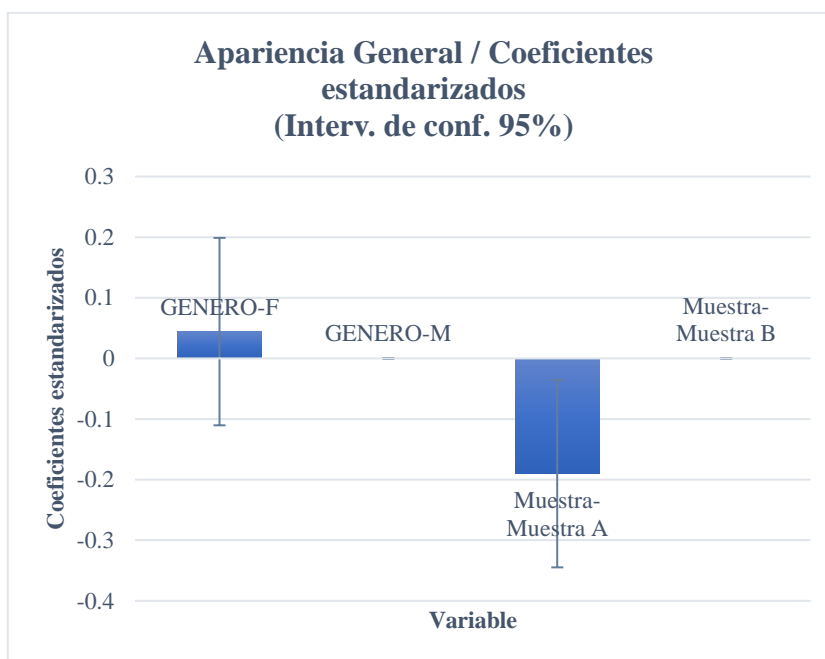
En el estudio realizado por (Galarza, 2018), en una investigación que realizo en evaluación adquirida de alimentos en la vía pública del cercado de lima entre mayo 2017 y junio 2018. Se determinó la presencia de coliformes totales en los alimentos adquiridos, sin embargo, un 30% de las muestras con tratamiento térmico y un 80% de las muestras sin tratamiento térmico se consideraron inaceptables para el consumo humano, según la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de la calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (NTS N° 071 – MINSA/DIGESA-V.01), representando un riesgo para la salud pública.



Al llevar a cabo el análisis de varianza (ANOVA), se observó que los valores-P evaluaron relevancia la estadística de los factores de tiempo y temperatura. Se concluyó que ninguno de los factores influyó de manera estadísticamente significativa en las bacterias aerobias mesófilas con un nivel de confianza del 95,0%, ya que ningún valor-P fue menor a 0,05. Sin embargo, en el caso de Salmonella sp, se comprobó que el factor de tiempo tuvo un efecto estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%, ya que uno de los valores-P fue menor a 0,05 ver Anexo 1.

#### 4.3.2 Análisis sensorial

En el Figura 8 se presenta la relación de la apariencia general con los coeficientes estandarizados, para lo cual se considera como variables la muestra A con código (C16050), tratamiento de cocción de 65°C x 50 min y, el segundo grupo por la muestra B con código (C27040), tratamiento de cocción de 70°C x 40min.



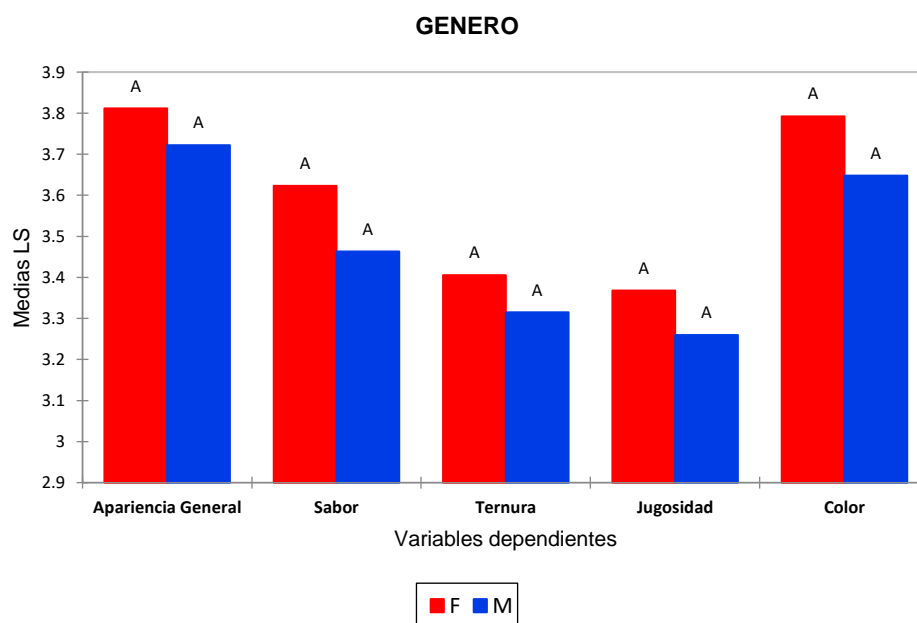
**Figura N° 8:** Relación de apariencia general / Coeficientes estandarizados.

En la Tabla 15 se presenta el análisis estadístico desarrollado de cada atributo organoléptico, e indicando que los datos obtenidos por las respuestas de los 80 panelistas tienen diferencias significativas, de tal manera que para la relación en cuanto al modelo estadístico los atributos de apariencia general, sabor, jugosidad y color, si existe una diferencia significativa, por otro lado, en cuanto a la ternura no existe diferencia significativa entre las respuestas de los panelistas.

**Tabla 15: Resumen (Medias LS) - GENERO:**

	Apariencia General	Sabor	Ternura	Jugosidad	Color
F	3.811 a	3.623 a	3.406 a	3.368 a	3.792 a
M	3.722 a	3.463 a	3.315 a	3.259 a	3.648 a
Pr > F(Modelo)	0.047	0.001	0.108	< 0.0001	< 0.0001
Significativo	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Pr > F(GENERO)	0.573	0.308	0.613	0.529	0.338
Significativo	No	No	No	No	No

Asi también en la Tabla 15, se presenta que en cuanto al género del panelista no existe diferencia significativa en ninguno de los atributos organolépticos. Las cuales fueron determinadas de los promedios de las calificaciones brindadas por los 80 panelistas.



**Figura N° 9:** Atributos organolépticos en relación con el género.

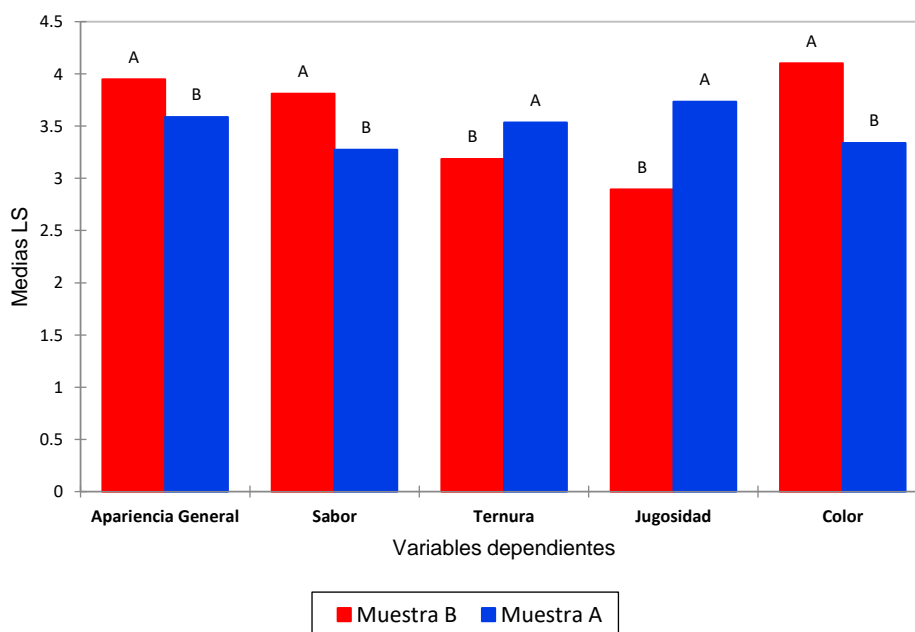
La Figura 9 nos muestra la aceptación de los diferentes atributos organoléptico en relación con el género de la muestra A con código (C16050), Tratamiento de cocción de 65°C x 50 min, para lo cual, tanto la apariencia general, sabor, ternura, jugosidad y color fue más resaltante para el género femenino.

**Tabla 16: Resumen (Medias LS) - Muestra:**

	Apariencia General	Sabor	Ternura	Jugosidad	Color
Muestra B	3.948 a	3.812 a	3.185 b	2.895 b	4.102 a
Muestra A	3.586 b	3.274 b	3.535 a	3.732 a	3.339 b
Pr > F(Modelo)	0.047	0.001	0.108	< 0.0001	< 0.0001
Significativo	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Pr > F(Muestra)	0.016	0.000	0.041	< 0.0001	< 0.0001
Significativo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Por otro lado, la relación que se tiene de los atributos organolépticos y las dos diferentes muestras nos indica que tanto la apariencia general, sabor y color pertenecientes la muestra A con código (C16050), tratamiento de cocción de 65°C x 50 min, obtuvieron mejor calificación por parte de los panelistas y, los atributos de ternura y jugosidad fueron más relevantes en la muestra B con código (C27040), tratamiento de cocción de 70°C x 40min.

**Figura N° 10: Atributos organolépticos en relación con la muestra.**

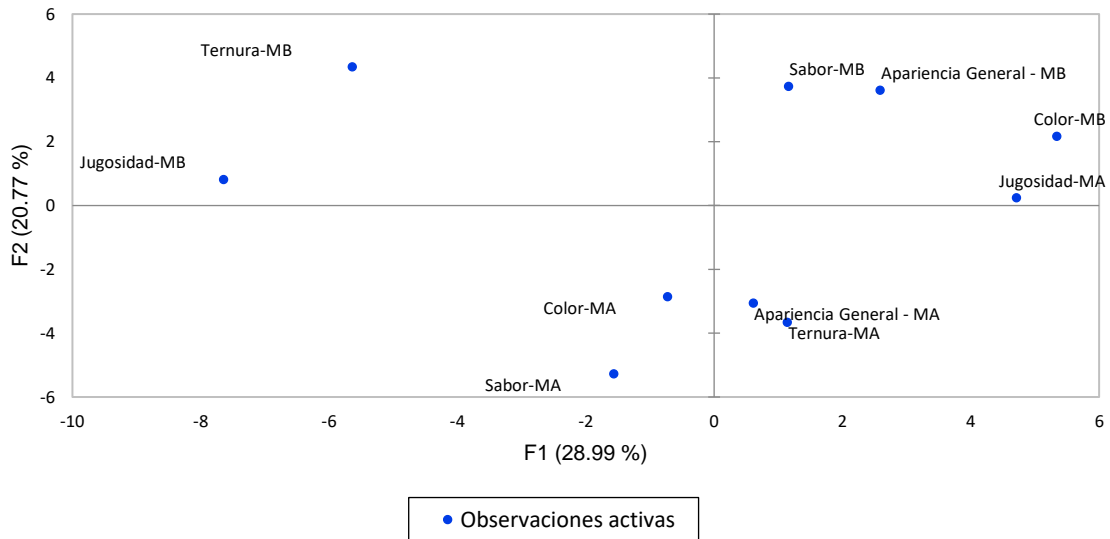


❖ **Análisis de componentes principales:**

En el grafico 2 se muestra el análisis de correspondencia de las muestras y los atributos que se encuentran en dos dimensiones con el 50% de la variabilidad total de los datos. Se observo la formación de dos grupos: el primer grupo estuvo formado por la muestra A con código (C16050), Tratamiento de cocción de 65°C x 50 min y, el segundo grupo por la muestra B con código (C27040), Tratamiento de cocción de 70°C x 40min. Se percibió que la muestra

A obtuvo mejor aceptación en cuanto a apariencia general, sabor y color, mientras que la muestra B obtuvo mejor aceptabilidad en cuanto a los atributos de ternura y jugosidad.

**Figura N°11:** Gráfica de análisis de correspondencias.



Para Aguilera (2011), el Sous-vide es una aplicación estrella es la cocción de carnes duras, donde el objetivo es ablandar los tejidos sin perder los jugos. Para empezar, el “sellado” de la carne previo a la cocción baño agua es un mito pues no contribuye en retener más jugos. Las proteínas que constituyen la estructura de las fibras del músculo comienzan a acortarse y soltar un jugo alrededor de los 54 °C. Alcanzando su encogimiento máximo unas temperaturas superiores una los 75-80°C.

Por otra parte, el colágeno que cementa las fibras de las carnes rojas tiene un punto de desaturación (solubilización) que depende de la edad del tipo de animales y de carne, pero fluctúa alrededor de los 70 °C. En los pescados, el colágeno es más suave y se disuelve un 50-55°C. Muchas carnes se ablandan y permanecen jugosas. Si se cocinan Sous-vide por tiempos prolongados una temperatura. Una entre los 60 y los 85°C. La metodología Sous-vide contribuye en mejorar la calidad de la carne.

Una investigación realizada por (Gerken, y otros, 2018) nos muestra las comparaciones existentes entre la carne de llama y alpaca considerando la condición de animales enteros los resultados que la carne de alpacas son más tiernas, jugosas y más aromáticas (46,7%, 46,7% y 40%) respectivamente, mientras que para llama (26,7%, 36,7% y 30%) respectivamente, donde la condición de castrado supera en terneza 37,1% a los enteros 25,7%, así como

también es más jugosa 31,4% para castrado y 11,4% para castrado, mientras que en aroma ambas son iguales 37,1 %. Con esto podemos ver que un factor de influye en los atributos sensoriales de la carne de camélidos con su estado fisiológico.

### 4.3.3 Textura

Las propiedades mecánicas de la carne de alpaca se evaluaron, para cada uno de los tratamientos, con un Texturómetro INSTROM 34 TM-5-SA por fuerza de corte. La cuchilla fue aplicada perpendicularmente a las fibras longitudinales y el pico de fuerza fue determinado por la máxima fuerza durante el corte, con un promedio de 3 repeticiones.

Se puede indicar que al realizar el análisis de varianza (ANOVA) al análisis de textura se observa que los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores de tiempo y temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la deformación con un 95.0% de nivel de confianza así también. Así también al realizar el ANOVA los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores de tiempo y temperatura. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Fuerza con un 95.0% de nivel de confianza.



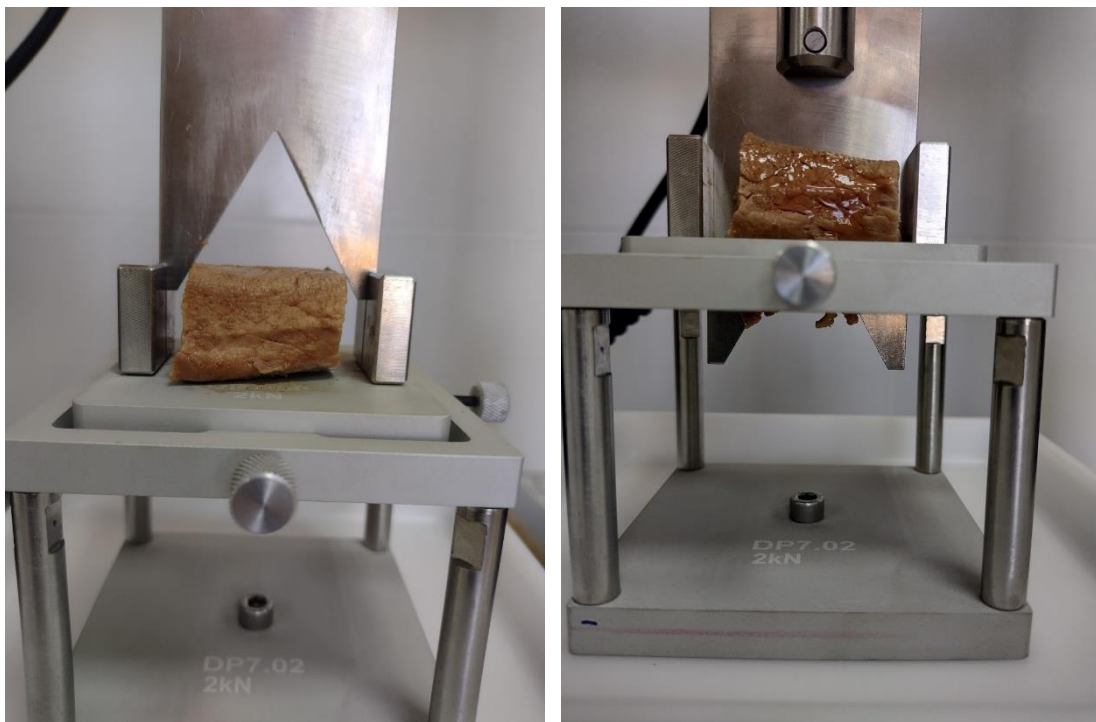
**Figura N° 12:** Cocción Sous – Vide de carne de alpaca a temperatura de 65°C y 70°C para análisis de textura.

*Tabla 17: Registro de datos para considerar en el análisis de textura bajo Cocción Sous-Vide para la carne de alpaca.*

Datos		Muestra			Cálculos en el Texturómetro								
Temperatura de cocción	Tiempo de Cocción	Tratamiento	Espesor	Ancho	Largo	Fuerza (N)	velocidad de ensayo (mm/min)	Desplazamiento (mm)	Energía (J)	Tiempo (s)	Deformación (%)	Promedio de Fuerza (N)	
65°C	60min	R1T1	1.8	4	4.5	152.81	2	32.57	1.36	16.3	65.13	130.74	
		R3T1	2.5	4	5	108.67	2	21.95	0.74	11	43.91		
	50min	R1T2	1.5	4	5	60.54	2	29.4	0.645	15.5	58.795	86.95	
		R2T2	1.7	4	5	93.15	2	41.55	1.4	20.8	83.1		
	40min	R3T2	2.5	3.9	4.5	107.15	2	29.97	0.98	15	59.93	128.00	
		R1T3	2.4	4	5	123.57	2	49.53	3.39	26.5	99.06		
	30min	R2T3	2.2	4	5	145.75	2	35.15	2.07	17.6	70.3	115.78	
		R3T3	2	4	4.5	114.67	2	38.55	1.66	19.3	77.11		
	20min	R1T4	2	3.5	5	97.24	2	42.57	1.28	21.3	85.13	104.57	
		R2T4	2	3.8	5	131.27	2	27.36	1	13.7	54.71		
	70°C	60min	R3T4	2	4	5	118.84	2	28.76	0.95	14.4	57.51	114.24
			R2T5	2	3.5	5	101.04	2	44.95	1.67	22.5	89.91	
		50min	R3T5	1.8	2	5	108.1	2	29.55	1.1	14.8	59.11	104.86
			R1T1	1.8	4	4.5	172.37	2	32.57	1.36	16.3	65.13	
		40min	R2T1	1.8	4	4.6	168	2	49.88	2.14	149.7	99.76	113.45
R3T1			2.4	4	5	84.52	2	24.55	0.69	12.3	49.11		
30min		R1T2	2	4	4.6	104.84	2	37.37	1.27	18.7	74.73	117.52	
		R2T2	1.8	4	5	119.39	2	4357	1.72	21.8	87.13		
20min		R3T2	2.5	3.7	4.5	118.5	2	21.15	0.94	10.6	42.31	89.4	
		R1T3	2.4	3.5	5	105.36	2	17.77	0.15	8.9	35.53		
60min		R2T3	2	3.9	5	98.67	2	29.83	0.74	16.5	59.65	113.45	
		R3T3	2	4	4.5	110.54	2	32.35	0.97	16.2	64.7		
50min		R1T4	2	3.5	5	114.65	2	38.33	1.68	19.8	78.12	117.52	
		R2T4	2	3.5	4.8	109.87	2	28.77	1.02	15.1	62.41		
40min		R3T4	2	3.9	5	115.84	2	35.69	1.53	17.5	68.95	117.52	
	R1T5	1.8	4	4.9	117.95	2	29.51	0.93	14.6	58.34			
30min	R2T5	2	3.7	5	135.64	2	31.65	1.23	15.4	62.12	117.52		
	R3T5	1.8	3.5	4.9	98.96	2	45.58	1.69	22.7	89.4			



*Figura N° 13: Toma de medidas de muestra de carne de alpaca a analizar y texturómetro INSTRON 34 TM-5-SA.*



*Figura N° 14: Análisis de textura de carne de alpaca.*

(Iborra, 2013) en su investigación de optimización de textura observo que la ternura disminuye con el aumento de la temperatura y un aumento en el tiempo. En la cual trabajo con tratamientos, entre 20 y 50 min, los valores de la prueba de la celda de Kramer

disminuyeron en un 52% a 90°C y 41% a 80°C; entre 80 y 90°C, los valores de prueba de la celda de Kramer disminuyeron un 63% a los 50 min y un 54% a los 20 min. Sin embargo, en el presente trabajo se realizó la prueba de Kramer – corte donde se observó que el tratamiento con menor fuerza de corte, cocción Sous-Vide de 65°C durante 50min con una fuerza de 86.95 N y el tratamiento mayor fuerza de corte fue cocción Sous-Vide de 70°C durante 60min.

#### 4.3.4 Color

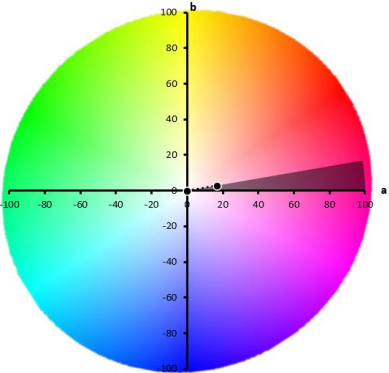
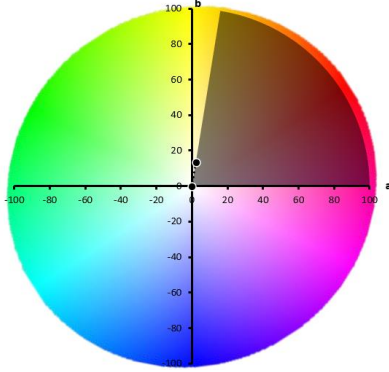
En la Tabla 18 se presenta los resultados del color de la carne cruda (Control) y los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 y T10 realizados a diferentes tiempos (60, 50, 40, 30, 20 min) y temperaturas de 65°C y 70°C, de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) procesada mediante Sous-vide.

En donde L\* mide el brillo de la superficie, a\* representa la intensidad del color rojo-verde y b\* la intensidad del color amarillo-azul. La muestra control es una carne de alpaca cocinada bajo la metodología tradicional, es decir, en una cocina común del hogar, esto para poder determinar sus valores en el espacio CIE L\*a\*b\* cuyos valores son menores a los valores obtenidos de las muestras que fueron sometidas a cocción Sous-vide, con tiempo y temperaturas controladas, los análisis en cuanto a color, se hicieron con la programación de adquisición y análisis de imágenes el cual permite evaluar en coordenadas RGB para luego ser transformados en el L\* a\* b\*.

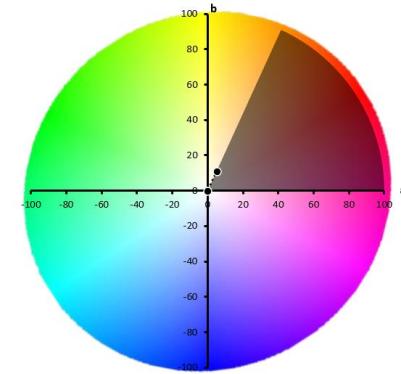
Según (García-Segovia *et al.*, 2007) la carne bajo la cocción Sous-vide presenta un color rojizo más intenso y es posible que la degradación de la mioglobina pueda protegerse mediante el uso de envases Sous-vide. Los cambios de color más importantes se observan en tiempos cortos y temperaturas bajas para todos los tratamientos. El análisis de color CIELAB sugirió que los bistecs cocidos eran generalmente más claros (mayor L\*) y más amarillos (mayor b\*), mientras que a\* (color rojo) disminuía a medida que aumentaba la temperatura y el tiempo de cocción. Los valores calculados para C\*ab estuvieron entre 6 para muestra cruda y 16 en tratamiento sous-vide H\*ab, osciló entre 59 para materia prima y 83 en sistema a presión atmosférica y ΔE entre 13 obtenido para presión atmosférica y tratamiento cook-vide y 23 en proceso sous-vide. Se puede observar que el rango de variación en Chroma, tonalidad y ΔE a diferentes temperaturas, tiempos y tratamientos no es muy importante. No se realizaron análisis estadísticos para ΔE\*, C\*ab, y, estos valores se obtuvieron a partir de la reducción de datos de los valores CIE L\*, a\*, b\*, H\*ab.



**Tabla 18:** Color de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) procesada mediante Sous-vide.

Temperatura de cocción	Tiempo de Cocción	Tratamiento N°	RGB	CIELAB	L*C*h*	$\Delta E^*$	GRAFICO	
		<b>Control</b>	R: 115 G: 116 B: 74	L*: 35.37 a*:16.70 b*: 2.87	L*: 47.58 C*: 16.94 h*: 9.75	0		
65°C	60min		R: 146,	L*: 58.146	L*: 58.146	0		
			1	G: 130, a*:	2.083			C*: 14.250
			B: 107	b*: 14.097	h*: 0.146			
		<b>R1T1</b>	R: 152,	L*: 60.081	L*: 60.081	1.96450492		
			2	G: 135, a*:	2.423			C*: 14.304
			B: 112	b*: 14.097	h*: 0.170			
<b>R2T1</b>	R: 126,	L*: 51.234	L*: 51.234	7.05178468				
	3	G: 112, a*:	1.908		C*: 12.856			
	B: 92	b*: 12.713	h*: 0.148					
		<b>R2T1</b>	R: 135, G: 115, B: 97	L*: 52.981 a*: 4.559 b*: 12.399	L*: 52.981 C*: 13.211 h*: 0.352	0		

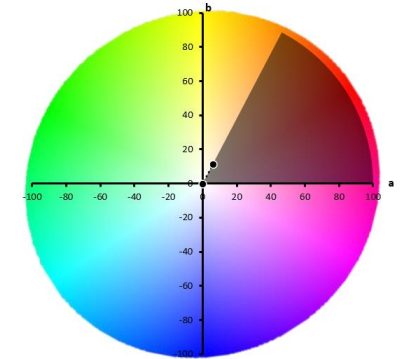
R: 129, L\*: 51.624 L\*: 51.624  
 2 G: 112, a\*: 3.873 C\*: 11.112 2.50013171  
 B: 97 b\*: 10.415 h\*: 0.356



R: 122, L\*: 47.203 L\*: 47.203  
 3 G: 99, a\*: 6.796 C\*: 12.538 6.47057735  
 B: 86 b\*: 10.536 h\*: 0.572

**R3T1**

R: 133, L\*: 51.953 L\*: 51.953  
 1 G: 112, a\*: 5.150 b\*: 12.084 C\*: 13.136 h\*: 0.402 0



R: 127, L\*: 49.108 L\*: 49.108  
 2 G: 104, a\*: 6.392 C\*: 13.165 3.15719886  
 B: 89 b\*: 11.509 h\*: 0.507

R: 125, L\*: 48.353 L\*: 48.353  
 3 G: 102, a\*: 6.58 b\*: 11.010 C\*: 12.828 h\*: 0.538 4.0206401  
 B: 88

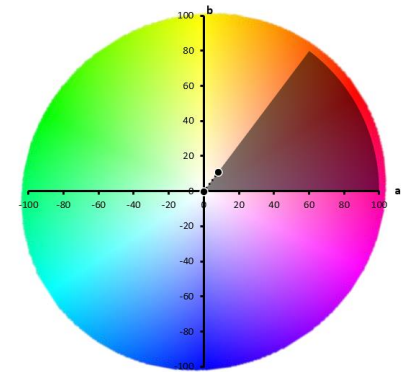
**50min**

**R1T2**

R: 144, L\*: 54.493 L\*: 54.493  
 1 G: 117, a\*: 7.862 C\*: 13.698 h\*: 0.611 0  
 B: 103 b\*: 11.217

R: 132, L\*: 49.675 L\*: 49.675  
 2 G: 104, a\*: 8.844 C\*: 13.822 4.95350722  
 B: 92 b\*: 10.622 h\*: 0.694

R: 129, L\*: 49.064 L\*: 49.064  
 3 G: 103, a\*: 7.919 C\*: 13.465 h\*: 0.628 5.4401107  
 B: 90 b\*: 10.890

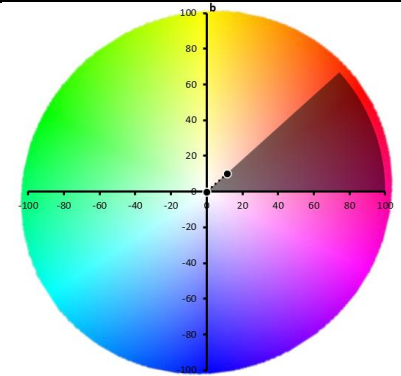


**R2T2**

1 R: 143, L\*: 53.577 L\*: 53.577  
G: 114, a\*: 8.854 C\*: 14.165 0  
B: 101 b\*: 11.056 h\*: 0.675

2 R: 142, L\*: 51.077 L\*: 51.077  
G: 105, a\*: 12.958 C\*: 16.266 4.9591867  
B: 97 b\*: 9.831 h\*: 0.921

3 R: 138, L\*: 50.382 L\*: 50.382  
G: 104, a\*: 11.811 C\*: 15.078 4.66773101  
B: 96 b\*: 9.372 h\*: 0.900

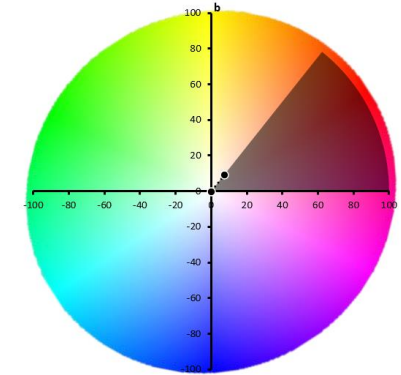


**R3T2**

1 R: 137, L\*: 53.307 L\*: 53.307  
G: 115, a\*: 6.255 C\*: 11.333 0  
B: 103 b\*: 9.450 h\*: 0.584

2 R: 130, L\*: 50.363 L\*: 50.363  
G: 107, a\*: 6.943 C\*: 11.551 3.03132175  
B: 96 b\*: 9.231 h\*: 0.644

3 R: 119, L\*: 45.237 L\*: 45.237  
G: 93, a\*: 8.768 C\*: 12.508 8.4688993  
B: 84 b\*: 8.920 h\*: 0.776



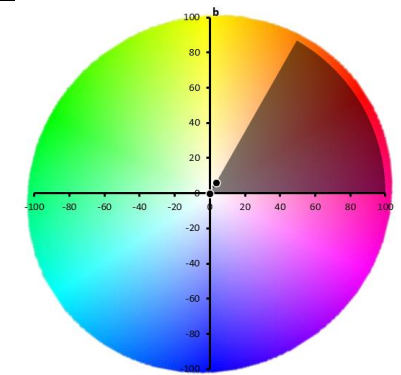
**40min**

**R1T3**

1 R: 123, L\*: 51.274 L\*: 51.274  
G: 112, a\*: 2.856 C\*: 5.961 0  
B: 105 b\*: 5.232 h\*: 0.499

2 R: 133, L\*: 53.031 L\*: 53.031  
G: 115, a\*: 5.346 C\*: 8.588 3.39170853  
B: 107 b\*: 6.720 h\*: 0.671

3 R: 122, L\*: 51.134 L\*: 51.134  
G: 112, a\*: 2.125 C\*: 6.529 1.1996764  
B: 103 b\*: 6.173 h\*: 0.331

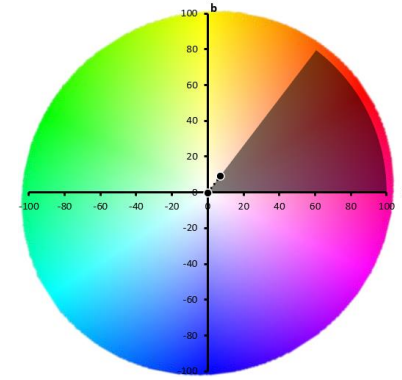


**R2T3**

1 R: 138, L\*: 54.854 L\*: 54.854  
G: 120, a\*: 4.798 C\*: 9.536 0  
B: 109 b\*: 8.242 h\*: 0.527

2 R: 132, L\*: 50.821 L\*: 50.821  
G: 108, a\*: 7.166 C\*: 12.226 4.96394741  
B: 96 b\*: 9.906 h\*: 0.626

3 R: 135, L\*: 50.878 L\*: 50.878  
G: 107, a\*: 9.070 C\*: 13.097 5.95982009  
B: 97 b\*: 9.448 h\*: 0.765

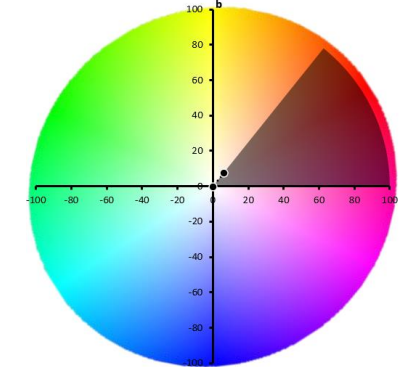


**R3T3**

1 R: 137, L\*: 53.665 L\*: 53.665  
G: 116, a\*: 6.324 C\*: 9.944 0  
B: 107 b\*: 7.674 h\*: 0.689

2 R: 129, L\*: 51.185 L\*: 51.185  
G: 110, a\*: 5.639 C\*: 9.373 2.57904095  
B: 101 b\*: 7.486 h\*: 0.645

3 R: 133, L\*: 52.140 L\*: 52.140  
G: 112, a\*: 6.387 C\*: 10.038 1.52702019  
B: 103 b\*: 7.744 h\*: 0.689



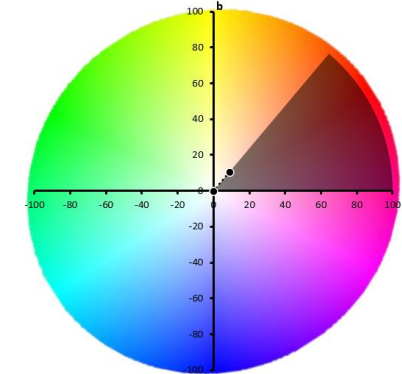
**30min**

**R1T4**

1 R: 146, L\*: 57.498 L\*: 57.498  
G: 127, a\*: 4.624 C\*: 10.871 0  
B: 113 b\*: 9.839 h\*: 0.439

2 R: 146, L\*: 52.509 L\*: 52.509  
G: 109, a\*: 12.266 C\*: 17.090 9.35696926  
B: 97 b\*: 11.900 h\*: 0.800

3 R: 129, L\*: 48.272 L\*: 48.272  
G: 100, a\*: 9.644 C\*: 13.735 10.5039398  
B: 90 b\*: 9.779 h\*: 0.778

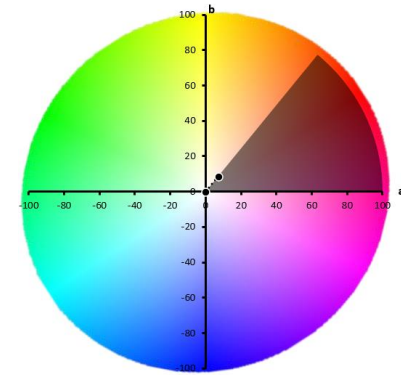


**R2T4**

1 R: 124, L\*: 48.593 L\*: 48.598  
G: 103, a\*: 6.066 C\*: 11.332 0  
B: 91 b\*: 9.572 h\*: 0.564

2 R: 133, L\*: 49.823 L\*: 49.82  
G: 104, a\*: 9.539 C\*: 13.588 3.68623673  
B: 94 b\*: 9.677 h\*: 0.778

3 R: 135, L\*: 53.504 L\*: 53.504  
G: 116, a\*: 5.716 C\*: 8.921 5.62548498  
B: 108 b\*: 6.849 h\*: 0.695

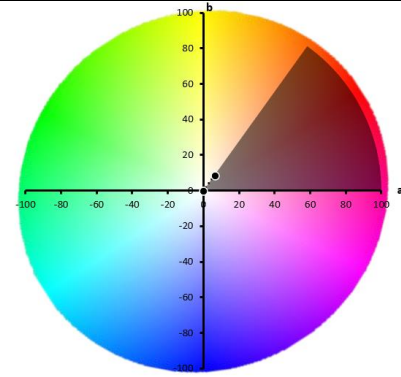


**R3T4**

1 R: 128, L\*: 51.626 L\*: 51.626  
G: 112, a\*: 4.118 C\*: 9.087 0  
B: 101 b\*: 8.100 h\*: 0.470

2 R: 139, L\*: 53.259 L\*: 53.259  
G: 114, a\*: 7.747 C\*: 11.7531 4.04667906  
B: 104 b\*: 8.838 h\*: 0.719

3 R: 137, L\*: 53.045 L\*: 53.045  
G: 114, a\*: 6.816 C\*: 11.353 3.2010007  
B: 103 b\*: 9.079 h\*: 0.643



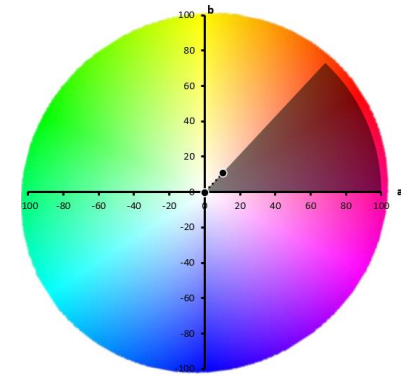
**20min**

**R1T5**

1 R: 152, L\*: 57.211 L\*: 57.211  
G: 124, a\*: 8.108 C\*: 13.821 0  
B: 110 b\*: 11.193 h\*: 0.626

2 R: 132, L\*: 48.015 L\*: 48.015  
G: 98, a\*: 11.708 C\*: 15.823 9.89101503  
B: 88 b\*: 10.644 h\*: 0.832

3 R: 136, L\*: 50.105 L\*: 50.105  
G: 104, a\*: 10.583 C\*: 15.051 7.5409192  
B: 93 b\*: 10.701 h\*: 0.779



---

**R2T5**

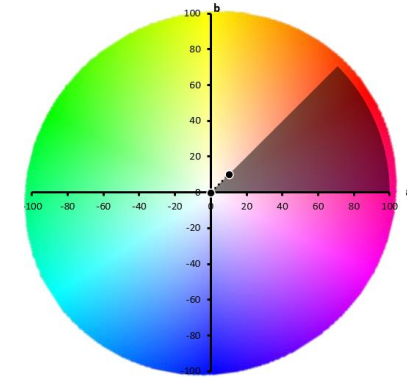
R: 127, L\*: 46.608 L\*: 46.608  
1 G: 95, a\*: 10.853 C\*: 15.430 0  
B: 84 b\*: 10.967 h\*: 0.780

---

R: 123, L\*: 44.481 L\*: 44.481  
2 G: 89, a\*: 12.016 C\*: 16.243 2.42376899  
B: 79 b\*: 10.929 h\*: 0.832

---

R: 149, L\*: 56.743 L\*: 56.743  
3 G: 123, a\*: 7.961 C\*: 11.872 10.7585307  
B: 113 b\*: 8.807 h\*: 0.735



---

**R3T5**

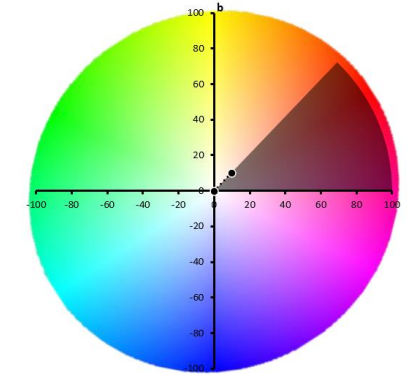
R: 131, L\*: 47.863 L\*: 47.863  
1 G: 98, a\*: 11.020 C\*: 15.998 0  
B: 86 b\*: 11.596 h\*: 0.759

---

R: 138, L\*: 50.289 L\*: 50.289  
2 G: 104, a\*: 11.235 C\*: 16.129 2.43527742  
B: 92 b\*: 11.571 h\*: 0.770

---

R: 145, L\*: 56.419 L\*: 56.419  
3 G: 123, a\*: 6.757 C\*: 9.854 10.5339663  
B: 115 b\*: 7.173 h\*: 0.755



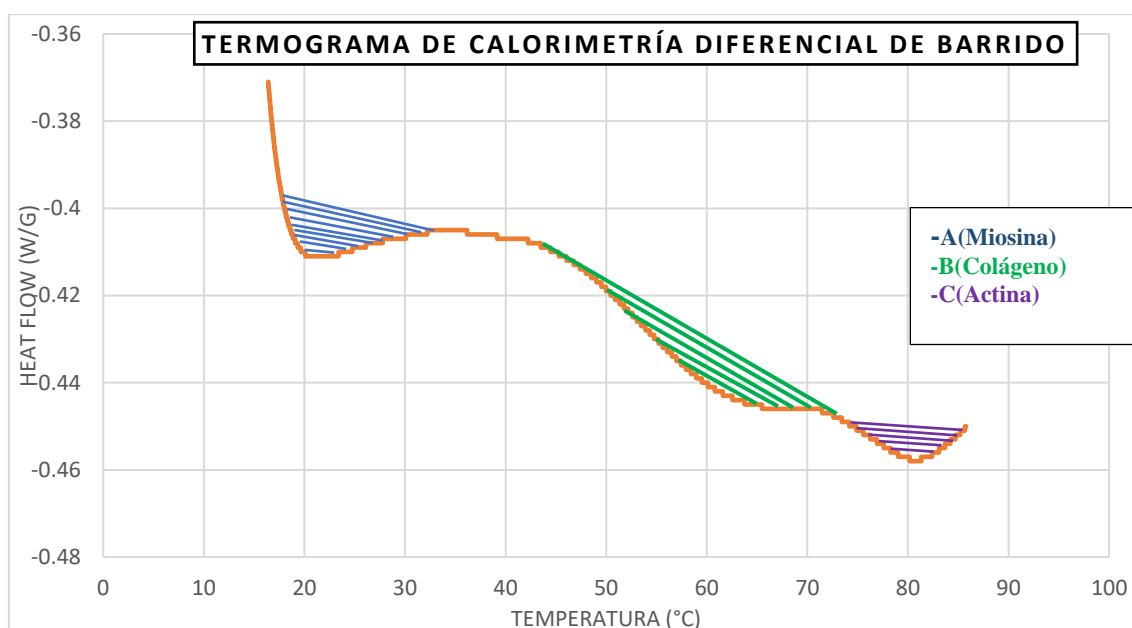
#### 4.4 TRANSICIONES DE FASE DE LAS PROTEÍNAS DE LA CARNE DE ALPACA (*Vicugna pacos*) BAJO EL PROCESO DE COCCIÓN SOUS-VIDE MEDIANTE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).

Las transiciones térmicas de muestras de carne cruda durante el calentamiento se muestran en Figura 15. Se muestra las endotermas correspondientes al consumo de energía requerida para la ruptura de la estructura terciaria y cuaternaria de las principales proteínas presentes en el sistema cárnico y también la formación de un nuevo nivel de estructura.

**Tabla 19:** Parámetros de las transiciones térmicas.  $\Delta G$ : Energía para la transición térmica,  $T_o$ : Inicial temperatura de transición;  $T_d$ : temperatura de desnaturalización;  $T_f$ : Temperatura final de transición.

Muestra	Peso de muestra	Transiciones	$\Delta G$ (W/g)	$T_o$ (°C)	$T_d$ (°C)	$T_f$ (°C)
Carne Deshidratada	18.12	A(Miosina)	0.338	17.81	21.79	33.67
	17.77	B(Colágeno)	0.365	43.54	66.03	71.56
	17.75	C(Actina)	0.11	73.31	81.3	85.68

La energía de transición ( $\Delta G$ ) fue determinada integrando el área bajo la curva, teniendo en cuenta la tasa de calentamiento y el peso de la muestra (Chiralt *et al.*, 2007). La Tabla 19 enumera los valores de temperatura de desnaturalización y energía de transición para cada una de las secciones (a, b y c) que se muestra en la Figura 15.



**Figura N° 15:** Termograma de calorimetría diferencial de barrido de Muestra de carne de alpaca deshidratada.

Tres transiciones térmicas son visibles en la curva de flujo de calentamiento de la carne de alpaca con valores 21.79, 66.0 y 81.3°C respectivamente. Basado en el hallazgo de Barbut y Findlay (1991) estos picos muy probablemente son correspondió con las temperaturas de desnaturalización de la miosina (59°C), el colágeno (66°C) y actina (82°C), respectivamente y los determinados en el trabajo de investigación realizado por Balaguer, (2012) con valores pico a 54,8, 66,18 y 77,67°C, respectivamente.

Los cuales guardan relación con trabajadores anteriores donde han demostrado que la miosina y la actina representan aproximadamente el 45% y el 25%, respectivamente, de proteína miofibrilar total, mientras que el colágeno es el principio proteína del tejido conectivo. Vale la pena señalar las diferencias en las formas de las curvas. El colágeno parecía tener un pico claro y definido mientras que las proteínas miofibrilares parecían tener una geometría que dificulta obtener la energía de transición.

Una posible explicación podría estar relacionada con la velocidad de calentamiento empleada (10°C/min). Dado que entre las temperaturas de transición es apenas una diferencia de 10°C, podría no ser tiempo suficiente para la recuperación de los endotermos.

Otra hipótesis es la superposición entre la transición de proteínas y lípidos, (Kim *et al.*, 2010) documentaron que los principales lípidos presentes en la carne tienen una temperatura de fusión entre 48-60°C. Sin embargo, en nuestro trabajo el contenido de lípidos es insignificante en comparación con el contenido de proteínas.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la difusividad térmica es decir la velocidad con la que el calor se transmite a través de la carne a una temperatura de 65°C y 70°C es de  $9.1618 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$  y de  $4.5712 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$  respectivamente. Por lo tanto, la difusividad térmica es una propiedad importante en la ingeniería de alimentos y en la optimización de procesos térmicos, ya que permite diseñar procesos que garanticen una transferencia de calor adecuada y segura, y que permitan obtener productos alimenticios con la textura y calidad deseada.
- En cuanto a la simulación, validación de temperatura y tiempos de cocción se tiene que, a una temperatura de medio de cocción de 65°C, el tiempo de cocción simulado oscila entre 23.35 min y 93.43 min, por otro lado, en un medio de cocción de 70°C, el tiempo de cocción simulado oscila entre 47.84 min y 191.37 min, para los cinco diferentes espesores de 2 a 4 cm. Y al realizar el análisis de varianza los resultados nos muestran que no existen diferencia significativa respecto al valor de F, lo cual es menor que el valor crítico F.
- La carne de alpaca es altamente proteica, conteniendo un  $21.69 \pm 0.18\%$ , un contenido graso de  $2.70 \pm 0.09\%$ , humedad de  $74.47 \pm 0.38\%$  y cenizas  $1.12 \pm 0.02\%$ . Así también se determinó que los valores de Calor Especifico ( $C_p$ ) de  $3.508 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$ , Conductividad Térmica ( $k$ ) de  $0.471 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . y coeficiente convectivo de  $6.805 \text{ W/m}^2\text{C}$ . En cuanto el análisis sensorial de correspondencia de las muestras y los atributos que se encuentran en dos dimensiones con el 50% de la variabilidad total de los datos. Se observó la formación de dos grupos: el primer grupo estuvo formado por la muestra A con código (C16050), Tratamiento de cocción de 65°C x 50 min y, el segundo grupo por la muestra B con código (C27040), Tratamiento de cocción de 70°C x 40min. Se percibió que la muestra A obtuvo mejor aceptación en cuanto a apariencia general, sabor y color, mientras que la muestra B obtuvo mejor aceptabilidad en cuanto a los atributos de ternura y jugosidad. Sin embargo, en el

análisis de textura se realizó la prueba de Kramer – corte donde se observó que el tratamiento con menor fuerza de corte, cocción Sous-Vide de 65°C durante 50min con una fuerza de 86.95 N y el tratamiento mayor fuerza de corte fue cocción Sous-Vide de 70°C durante 60min con una fuerza de 141.63 N.

- Los parámetros de las transiciones térmicas.  $\Delta G$ : Energía para la transición térmica,  $T_0$ : Inicial temperatura de transición;  $T_d$ : temperatura de desnaturalización;  $T.f.$ : Temperatura final de transición se encuentran descritas en la Tabla 19 donde se llegó a calcular la temperatura de desnaturalización de las proteínas principales: A(Miosina) a 21.79°C, B(Colágeno) a 66.03°C y C(Actina) 81.3 °C.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda calcular los parámetros térmicos en los diferentes cortes de la carne de alpaca.
- Se recomienda continuar con el estudio, proponiendo una identificación de serotipos patógenos de Coliformes en las muestras de carne de alpaca que se expenden en los mercados.
- Se recomienda realizar un trabajo de investigación teniendo como variable los diferentes cortes de la carne de alpaca.
- Se recomienda realizar un trabajo de investigación donde se relacione las estructuras de las miofibrillas en referencia a la cocción Sous-vide.
- Se recomienda realizar estudios de cambios microestructurales en carne de alpaca debido al tratamiento térmico en referencia a la cocción Sous-vide.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J. M. (2011). Ingeniería Gastronómica. Santiago: *EdicionsSuc*.
- Alvis, A., Caicedo, I., y Peña, P. (2012). Determinación de propiedades termofísicas de alimentos en función de la concentración y la temperatura empleando un programa computacional. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 111–116.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100012>
- Andrade, A. C., y Ayora, Á. E. (2017). Aplicación del método Sous-vide en la elaboración, conservación y almacenamiento de diez tipos de cortes de carne de res. Recuperado el 28 de 1 de 2021, de  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26915/1/proyecto>
- Aro, J. M., Nyam-Osor, P., Tsuji, K., Shimada, K. ichiro, Fukushima, M., y Sekikawa, M. (2010). The effect of starter cultures on proteolytic changes and amino acid content in fermented sausages. *Food Chemistry*, 119(1), 279–285.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.025>
- Atacusi, B. P. (2013). Estudio del tratamiento térmico de normalizado en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza y la resistencia.  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/4337>
- Balaguer, N. (2013). Study of Cooking Process in Ham By Termography and Dielectric Spectroscopy.
- Baldwin, D. E. (2012). Sous-vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Scienc*, 1, 15–30.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.002>.
- Barreto, J. A. (2013). Determinación de la difusividad térmica en pulpa de guanábana (*annona muricata*), en función de la temperatura. Tesis , universidad nacional agraria de la selva , Tingo María - Perú .
- Bello, j. (2008). Jamón curado: aspectos técnicos y tecnológicos. *Ediciones Díaz de santos*, 319-329.
- Bıyıklı, M., Akoğlu, A., Kurhan, Ş., y Akoğlu, İ. T. (2020). Effect of different Sous-vide cooking temperature-time combinations on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of turkey cutlet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100204>

- Botinestean, C., Hossain, M., Mullen, A. M., Kerry, J. P., y Hamill, R. M. (2021). The influence of the interaction of sous-vide cooking time and papain concentration on tenderness and technological characteristics of meat products. *Meat Science*, 177(December 2020), 108491. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108491>
- Bow, B., Swartz, G., y Gerard, D. (2001). Miofibrillas separadas de músculos rojos y blancos del músculo de porcino, responden a diferentes Ph. *J. Sci.*
- Buenaño C, J. C., y De la Cruz C, C. (2020). Verificación de Calidad de Modelos en Regresión Lineal. Obtenido de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17152/1/RESUMEN\\_CICYT\\_Tesina\\_Buenaño\\_DeLaCruz\\_ICM.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17152/1/RESUMEN_CICYT_Tesina_Buenaño_DeLaCruz_ICM.pdf)
- Carvajal C, L. M., Ospina M, N., Martínez A, O. L., Ramírez S, L., Restrepo E, C. C., Adarve E, S. S., y Restrepo E, S. L. (2008). Evaluación de textura a cinco cortes de carne de res conservados por esterilización en envase de hojalata. *VITAE*, 232-243.
- Chukwu, O. y. (2009). Influence of storage conditions on shelf-life of dried beef product. *World Journal of Agricultural Sciences*, 39.
- Church, I. J., y Parsons, A. L. (1993). Review: Sous-vide cook-chill technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 28(6), 563–574.
- Church, I.J., Parsons, A.L. (2000). The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and Sous-vide methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 35(2), 155-162.
- Coss Bú, R. (1998). Simulación: un enfoque práctico. Mexico: Limusa.
- Díaz, P. (2009). Calidad y deterioro de platos “Sous-vide” preparados a base de carne y pescado y almacenados en refrigeración. *Tesis doctoral, universidad de murcia*.
- Dickenson, R.V. and Read, R.B., 1975, Thermal diffusivity of meats. *Trans ASHRAE*, 81: 356–364
- FAO. (2004). Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua Directrices. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación - Organización Mundial De La Salud, Roma.
- Galarza, K. (2018). Evaluación adquirida de alimentos en la vía pública del mercado de Lima entre mayo 2017 y junio 2018. *Universidad Norbert Wiener*, 56.
- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., y Martínez-Monzó, J. (2007). Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (M. pectoralis). *Journal of Food Engineering*, 80(3), 813–821. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.010>

- Gerken, T. (2018). Evaluación organoléptica en carne de camélidos (resultados del panel test en Bolivia y Perú). *Bolivia: Universidad de Gottingen*.
- Guerrero, M. R. (2005). Optimización de la deshidratación de rodajas de manzana (*malus domesticus borkh*) en función de la densidad y porosidad. *Tesis, universidad nacional agraria de la selva, tingo maria- Perú*.
- Halffter, G., Zikán, W., Wygodzinsky, P., Castillo, C., Boucher, S., Salazar, K., Cano, E. B., Schuster, J. C., Luederwaldt, H., Kecerdasan, I., Ikep, P., Luederwaldt, H., Sampieri, R. H., Luederwaldt, H., Kecerdasan, I., Ikep, P., Stella, D. E., Dix, A., Kecerdasan, I., Postal, A. (2003). Estado actual de la normativa alimentaria de Perú y su comparación con las normas del codex alimentarius. *The Coleopterists Bulletin, 1(1)*,1–11.  
[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17152/1/RESUMEN\\_CICYT\\_Tesina\\_Buenaño\\_DeLaCruz\\_ICM.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17152/1/RESUMEN_CICYT_Tesina_Buenaño_DeLaCruz_ICM.pdf)
- Hernandez M, Z. (2012). Metodos de analisis de datos: APUNTES. *Universidad de la Rioja, Servicios de Publicaciones*.
- Huaracha R, A. libia. (2013). Universidad Nacional De San Agustin.
- Iborra, -B. a:S:M. (2013). Optimización de la textura y el color de las vainas de judías verdes sous-vide y cook-vide. *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos*, 507.
- INDECOPI. (2004). NTP 201-043-2001 Carnes y Productos carnicos requisitos y clasificacion de carnes de Alpaca y Llama. Lima: INACAL.
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (IV CENAGRO). Artículo, 1–93.
- Kim, B. C., Jeong, D. W., Choi, Y. M., Lee, S. H., Choe, J. H., Hong, K. C., Park, H. C. (2010). Correlations of trained panel sensory values of cooked pork with fatty acid composition, muscle fiber type, and pork quality characteristics in Berkshire pigs. *Meat Science*,86, 607-615.
- Kong, J:Y., Yano, T., King, J:D., Bac, S.K., Kim, M:Y. and Kong, I:S., 1994, Prediction of effective thermal diffusivity of fish and meats. *Biosci Biotechnol Biochem*, 58.
- Huamán N. L, Ancco T. (2012). Determinación de la conductividad térmica en carne de alpaca (*lama pacos*) en congelación. 2(3), 325–330.
- Lespinard, A. G. (2007). Escaldado de hongos (*Agaricus bisporus*). Simulación por elementos finitos utilizando geometrías 3D, con y sin malla móvil. *Mecánica Computacional*.

- Modon, A. (2017). Teoría de mecánica de los fluidos apuntes. *Universidad Nacional de Cuyo, 1*, 42. <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/apuntes-teoricos-de-mecanica-de-los-fluidos-rev9-doc-prot.pdf>
- Mortensen, L. M., Frøst, M. B., Skibsted, L. H., y Risbo, J. (2012). Effect of time and temperature on sensory properties in low-temperature long-time sous-vide cooking of beef. *Journal of Culinary Science and Technology, 10(1)*, 75–90. <https://doi.org/10.1080/15428052.2012.651024>
- Muramatsu, Y., Greiby, I., Mishra, D. K., y Dolan, K. D. (2017). Rapid Inverse Method to Measure Thermal Diffusivity of Low-Moisture Foods. *Journal of Food Science, 82(2)*, 420–428. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13563>
- Nielsen, S. (2003). *Análisis de Alimentos*. Maryland: Aspen Gainthersburgo.
- Nyati, H. (2000). An evaluation of the effect of storage and processing temperature on the microbiological status of Sous-vide extended shelf-life products. *Food Control, 476*. Obtenido de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11065/DiazMolins.pdf?sequenc>
- Ochoa, O., Chejne, F., Termof, P., Revisi, C., Estado, D. E. L., y Arte, D. E. L. (2006). Propiedades termofísicas de la carne revisión del estado del arte. *73*, 103–118.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2010). *Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos*. Nueva York.
- Pagador, M. E. (2012). Evaluación de la calidad de carnes frescas : aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Recuperado el 21 de 1 de 2021, de <http://eprints.ucm.es/5138>
- Reyna, M., Domínguez, L., y Pachón, H. (2007). *Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos “ Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos ”*.
- Reynaga, W. (2014). Estudio del tratamiento térmico de enlatado de pechuga de pollo (gallus gallus) en trozos y desmenuzado. Tesis , Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima – Perú.
- Robles, M. Á. (2000). Análisis de varianza (anova) en la investigación. *Boletín de Investigación y Postgrado*.
- Rodríguez, J. R., y Ticona Morales, J. T. (2015). Influencia De La Adicion De Sal Y Tiempo- Temperatura De Coccion En La Capacidad De Retencion De Aguaen La Carne De Alpaca (*Vicugna pacos*) Utilizando Tecnologia De Coccion Bajo Vacio.

- Samaniego Andrade, A. C., y Carpio Ayora, Á. E. (2017). Aplicación del método sous vide en la elaboración, conservación y almacenamiento de diez tipos de cortes de carne de res (*Bachelor's thesis*). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26915>
- Schellekens, M. (1996). New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science y Technology*, 7(8), 256-262. doi: [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10027-3](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10027-3)
- Sermeño, J. A. (2014). Simulación de los esfuerzos residuales resultantes de un tratamiento térmico de temple en piezas cilíndricas de acero. Tesis, universidad de el salvador, san salvador.
- Simpson, M. S. (1995). Challenge studies with *Clostridium botulinum* in a sous-vide spaghetti with meat sauce product. *Food Protection*, 58.
- Singh, P., y Helman, D. (1998). Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza - España: Acribia.
- Singh, R. P., y Heldman, D. R. (2009). Introduction to Food Engineering. *Academic Press is an imprint of Elsevier*.
- Sociedad de Psicología Industrial y de las Organizaciones, Inc. (2003). Principios para la Validación y Uso de los Procesos de Selección de Personal. *Society for Industrial Organizational Psychology*.
- Suaña, J. E. A. (2019). Evaluación bacteriana en utensilios y manos de los expendedores de carne de res en mercados de la ciudad - puno 2018. Universidad Nacional Del Altiplano Puno, 107.
- Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 410-420.
- Téllez, J. G. (1992). Tecnología e industrias cárnicas. Lima: *Artes Gráficas Espino*.
- Troy DJ, Kerry JP, 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Sci* 86: 214- 226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009>
- Vaudanga, S.R. , Lasta, J. A. (2001). Nuevas Herramientas para el Procesamiento de Cortes de Carne Bovina. 1–6.
- Vigo, C. M. (2014). Características físicoquímicas de un reestructurado de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) con inclusión de pecana (*carya illinoensis*) y transglutaminasa. Tesis, universidad nacional mayor de san marcos, Lima. Obtenido De <https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/323342149.Pdf>

- Warriss, P. (2000). Calidad de la carne en sistemas de producción “indoor” y “out door” de aves y cerdos. *Open Journal of Animal Sciences*.
- Wong, M. D. L. (2018). Efecto del marinado, congelación y descongelación sobre las propiedades tecnológicas de la carne de alpaca (*Vicugna pacos*).
- Zegarra, G. M. (2014). Propiedades térmicas de los alimentos – balance de masay otras variables en la industria fruticola – factores que influyen en la evaluacion sensorial de los alimentos. *Tesis, universidad nacional de san agustín de arequipa, arequipa – Perú*.
- Zhang, M., Chen, M., Fang, F., Fu, C., Xing, S., Qian, C., Liu, J., Kan, J., y Jin, C. (2022). Effect of Sous-vide cooking treatment on the quality, structural properties and flavor profile of duck meat. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29(July), 100565. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100565>



## ANEXOS

### *Anexo 1: Análisis de varianza del análisis microbiológico.*

#### **Análisis de Varianza para Salmonella sp**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo	1.33094	4	0.332735	249.24	0.0000
B: Temperatura	0.00081	1	0.00081	0.61	0.4795
RESIDUOS	0.00534	4	0.001335		
TOTAL (CORREGIDO)	1.33709	9			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### **Análisis de Varianza para Bacterias aerobias mesófilas**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo	0.3904	4	0.0976	0.96	0.5148
B: Temperatura	0.09409	1	0.09409	0.93	0.3903
RESIDUOS	0.40616	4	0.10154		
TOTAL (CORREGIDO)	0.89065	9			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

*Anexo 2: Ficha de evaluación sensorial.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
 CREADA POR LEY N° 29074  
 COMISIÓN ORGANIZADORA  
 VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA  
 E.P. ING. INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**FICHA O CARTILLA DE EVALUACION SENSORIAL**

EVALUACIÓN SENSORIAL DE CARNE DE ALPACA EN COCCION SOUS-VIDE	
NOMBRES Y APELLIDOS:	
EDAD:	GENERO:
Marque con una <b>X</b> el número que considere más acorde con la descripción mostrada a continuación:	

Leyenda de Calificación					
	Apariencia general	Sabor	Ternura	Jugosidad	Color
1	Inaceptable	No me gusto	Duro	Muy seco	Rojo Crudo
2	Poco inaceptable	Ligeramente disgustado	Ligeramente duro	Poco seco	Medio Rojo
3	Me es indiferente	Indiferente	Suavemente tierno	Neutral	Medio
4	Poco aceptable	Me gusto moderadamente	Moderadamente tierno	Poco jugoso	Medio Cocida
5	Aceptable	Me gusto	Tierno	Muy jugoso	Bien Cocida

Código de Muestra	Atributos	Calificación				
		1	2	3	4	5
C16550	Apariencia General					
	Sabor					
	Ternura					
	Jugosidad					
	Color					
C27040	Apariencia General					
	Sabor					
	Ternura					
	Jugosidad					
	Color					

*Anexo 3: Resultados de análisis sensorial.*

Panelista	EDAD	GENERO	CODIGO DE MUESTRA										
			C16550					C27040					
			Apariencia General	Sabor	Ternura	Jugosidad	Color	Apariencia General	Sabor	Ternura	Jugosidad	Color	
1	41	M	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	5
2	22	F	4	3	4	4	3	3	2	2	1	1	3
3	42	M	2	2	3	3	4	4	4	5	4	4	4
4	44	F	4	4	5	5	3	5	4	3	4	4	5
5	23	F	4	4	5	5	4	4	3	3	3	3	4
6	20	F	3	4	3	2	3	4	3	4	4	4	4
7	21	F	4	4	5	5	5	4	2	1	1	1	5
8	28	M	3	4	4	5	2	5	4	4	4	4	5
9	25	M	5	4	5	4	3	5	5	4	3	3	5
10	22	M	5	4	4	4	4	3	3	2	2	2	5
11	23	F	1	3	2	2	3	5	5	5	4	4	4
12	21	F	3	2	4	4	4	4	3	4	3	3	5
13	21	M	3	4	3	2	4	3	3	2	2	2	3
14	19	M	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	4
15	22	F	3	2	4	5	3	4	5	3	3	3	5
16	21	M	4	2	3	3	4	4	3	3	2	2	4
17	21	F	2	3	4	5	3	3	4	4	3	3	5
18	18	F	3	4	3	3	3	3	4	2	2	2	4
19	25	F	3	4	3	3	2	4	4	3	4	4	5
20	21	M	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	5
21	22	F	5	5	4	5	2	5	5	5	5	5	3
22	24	F	1	2	1	1	1	4	4	5	2	2	2
23	23	F	3	3	4	2	3	3	3	2	4	4	2
24	20	F	3	4	3	5	3	5	4	4	2	2	5
25	23	F	3	3	4	4	4	5	3	3	2	2	5
26	23	F	3	4	4	3	2	3	3	2	2	2	3
27	25	F	2	2	3	4	5	4	4	3	2	2	4
28	20	F	4	2	4	3	2	3	4	4	3	3	4
29	23	M	4	2	3	4	3	3	4	2	2	2	5
30	26	F	4	5	4	5	5	3	4	4	3	3	5
31	18	M	4	3	4	2	3	2	4	2	3	3	3
32	20	F	3	2	5	5	2	4	4	5	4	4	4
33	19	M	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	5
34	21	F	4	4	5	4	3	4	4	3	3	3	5
35	24	F	3	2	3	2	4	3	3	4	3	3	3

36	21	F	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3
37	21	F	2	3	2	2	3	2	2	2	2	3
38	19	F	5	4	4	3	2	4	3	2	2	3
39	20	F	4	4	3	3	4	3	3	4	2	3
40	20	F	4	3	2	4	4	3	3	1	2	3
41	24	F	4	4	3	5	4	4	5	3	3	4
42	21	M	4	3	2	4	3	5	4	3	3	4
43	20	F	4	4	5	5	4	5	5	4	3	4
44	23	M	3	3	3	4	4	3	4	3	2	4
45	22	M	4	4	5	4	3	4	4	4	3	4
46	22	F	3	1	2	3	2	4	5	4	4	4
47	20	F	5	5	5	5	4	4	4	2	4	5
48	24	F	3	2	2	4	3	5	4	2	4	5
49	21	M	4	4	5	5	3	3	4	4	2	3
50	21	F	4	4	2	4	3	5	4	3	2	5
51	22	M	5	3	4	5	3	4	2	3	3	4
52	19	F	4	4	5	4	4	4	4	2	4	5
53	22	F	4	3	4	4	4	5	5	4	3	5
54	20	F	3	4	4	2	4	4	5	4	3	2
55	20	M	4	4	3	5	3	3	4	3	2	3
56	21	M	2	3	2	2	3	4	3	2	2	5
57	20	F	4	4	3	4	3	5	5	3	5	5
58	21	F	2	2	4	5	3	5	4	5	3	4
59	21	F	5	2	2	3	4	5	5	2	2	5
60	26	F	2	2	4	4	2	3	4	3	4	5
61	21	F	5	4	5	5	5	5	4	2	3	5
62	21	M	4	3	2	1	4	5	5	5	4	3
63	20	F	5	4	5	3	5	4	4	3	2	5
64	21	M	5	4	4	3	3	5	4	2	4	4
65	20	F	4	1	2	3	4	5	2	3	2	5
66	20	M	2	1	1	3	3	1	2	3	3	3
67	22	F	4	2	4	5	4	5	5	3	2	5
68	23	F	4	4	2	3	4	4	5	5	4	4
69	21	F	4	4	5	3	4	3	3	2	1	3
70	25	M	3	2	2	3	4	4	4	3	4	3
71	19	F	4	5	4	5	4	3	4	3	2	5
72	24	M	5	4	5	3	3	5	2	2	2	5
73	20	F	4	4	2	5	4	5	5	2	2	5
74	20	F	4	3	3	4	4	5	4	4	3	5
75	24	F	4	4	3	5	1	5	4	4	2	4
76	19	F	4	4	4	5	4	4	5	4	3	4
77	20	F	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5
78	25	M	4	3	4	4	4	5	5	5	4	4

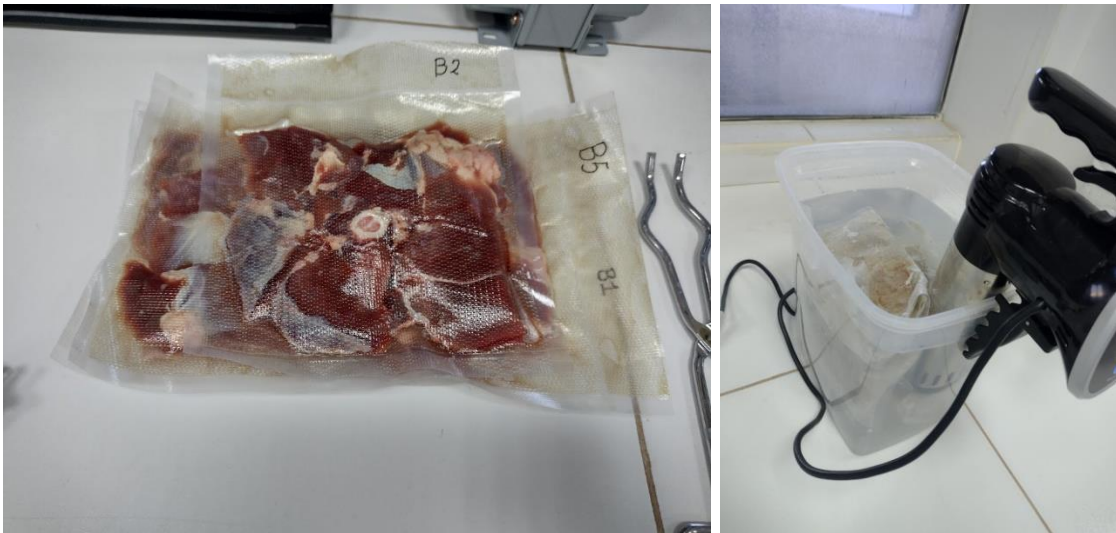
79	24	M	4	5	3	4	2	5	4	3	5	2
80	45	M	4	4	5	5	4	2	4	2	2	4



*Figura N° 16: Preparación de láminas de carne para análisis sensorial.*



*Figura N° 17: Preparación de láminas de carne en bolsas a vacío.*



*Figura N° 18: Preparación de láminas de carne en bolsas a vacío y cocción Sous-vide.*



*Figura N° 19: Muestras codificadas para análisis sensorial.*



*Figura N° 20: Implementos para análisis sensorial.*



*Figura N° 21: Realización de análisis sensorial con panelistas.*



*Figura N° 22: Realización de análisis sensorial con panelistas.*



*Figura N° 23: Realización de análisis sensorial con panelistas.*





*Figura N° 24: Realización de análisis sensorial con panelistas.*



*Figura N° 25: Realización de análisis sensorial con panelistas.*



*Figura N° 26: Realización de análisis sensorial con panelistas.*

**Anexo 4: Análisis de varianza (Apariencia General):**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	5.540	2.770	3.111	<b>0.047</b>
Error	157	139.803	0.890		
Total					
corregido	159	145.344			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

**Anexo 5.: Análisis suma de cuadrados: Tipo I (Apariencia General):**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
GENERO	1	0.284	0.284	0.319	0.573
Muestra	1	5.256	5.256	5.903	<b>0.016</b>

**Anexo 6: Parámetros del modelo (Apariencia General):**

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	3.903	0.149	26.284	< <b>0.0001</b>	3.610	4.197
GENERO-F	0.089	0.158	0.565	0.573	-0.223	0.401
GENERO-M	0.000	0.000				

Muestra-Muestra A	0.363	0.149	-2.430	<b>0.016</b>	-0.657	-0.068
Muestra-Muestra B	0.000	0.000				

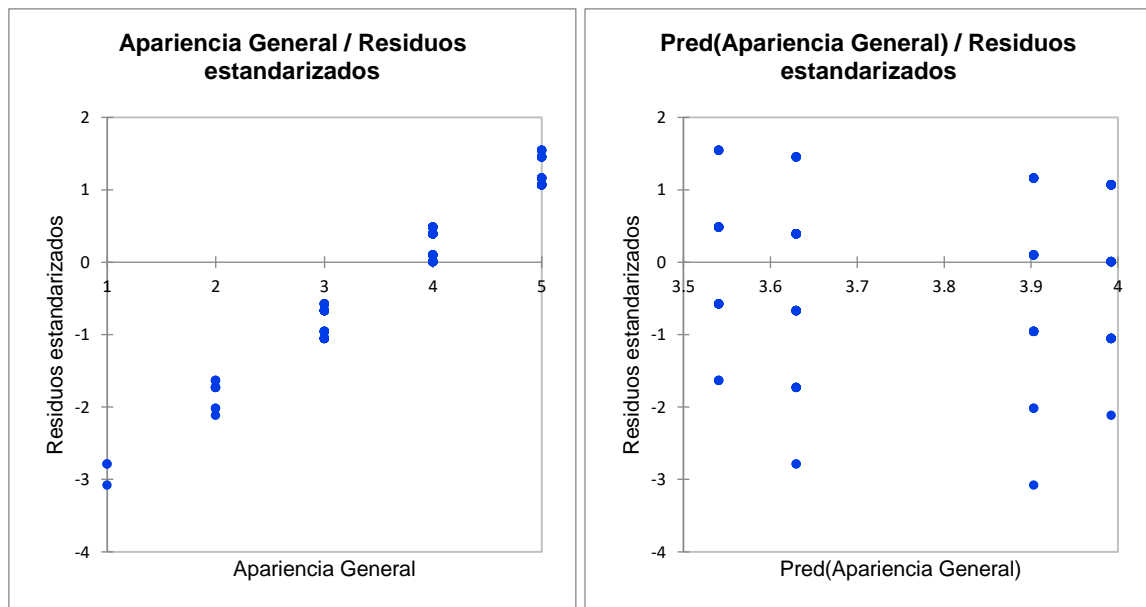
**Anexo 7:** Ecuación del modelo (Apariencia General):

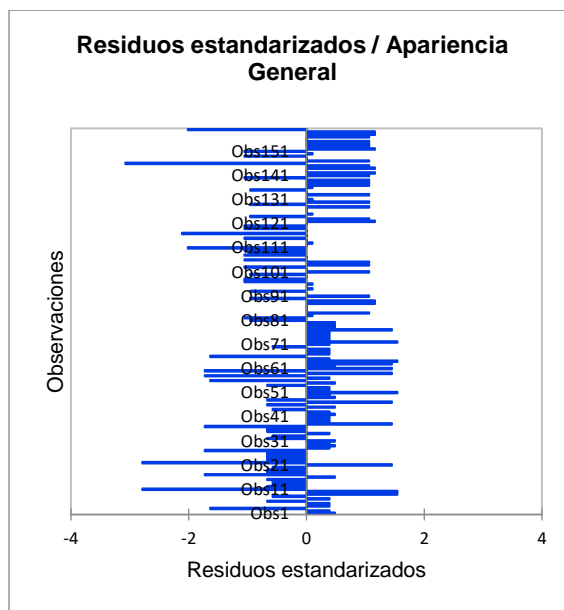
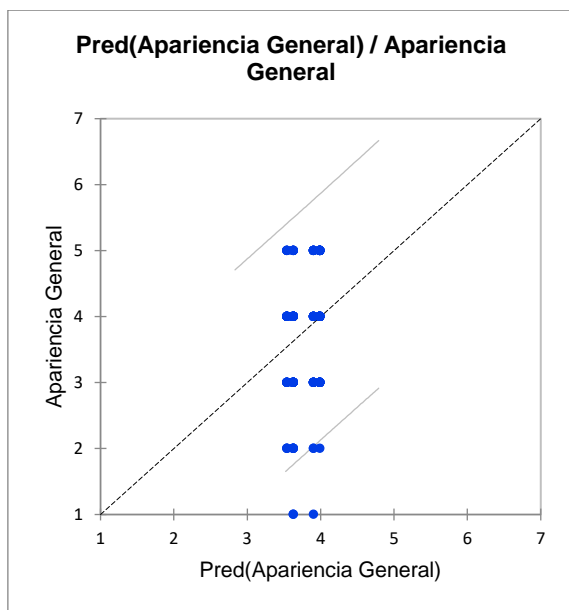
$$\text{Apariencia General} = 3.903472222222222 + 8.90985324947589E-02 * \text{GENERO-F} - 0.3625 * \text{Muestra-Muestra A}$$

**Anexo 8:** Coeficientes estandarizados (Apariencia General):

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr >  t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
GENERO-F	0.044	0.078	0.565	0.573	-0.110	0.199
GENERO-M	0.000	0.000				
Muestra-Muestra A	-0.190	0.078	-2.430	<b>0.016</b>	-0.345	-0.036
Muestra-Muestra B	0.000	0.000				

**Anexo 9:** Predicciones y residuos (Apariencia General):





**Anexo 10:** Muestra / Fisher (LSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Apariencia General):

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Muestra B vs Muestra A	0.363	2.430	1.975	<b>0.016</b>	Sí
LSD-valor:			0.295		

Categoría	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
Muestra B	3.948	0.109	3.734	4.162	A
Muestra A	3.586	0.109	3.371	3.800	B

**Anexo 11:** GENERO / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Apariencia General):

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
F vs M	0.089	0.565	1.975	0.573	No
Valor crítico del d de Tukey:			2.793		

Categoría	Medias LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Grupos
F	3.811	0.092	3.630	3.992	A
M	3.722	0.128	3.469	3.976	A

**Anexo 12:** Análisis de varianza (Sabor):

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
--------	----	-------------------	------------------	---	--------

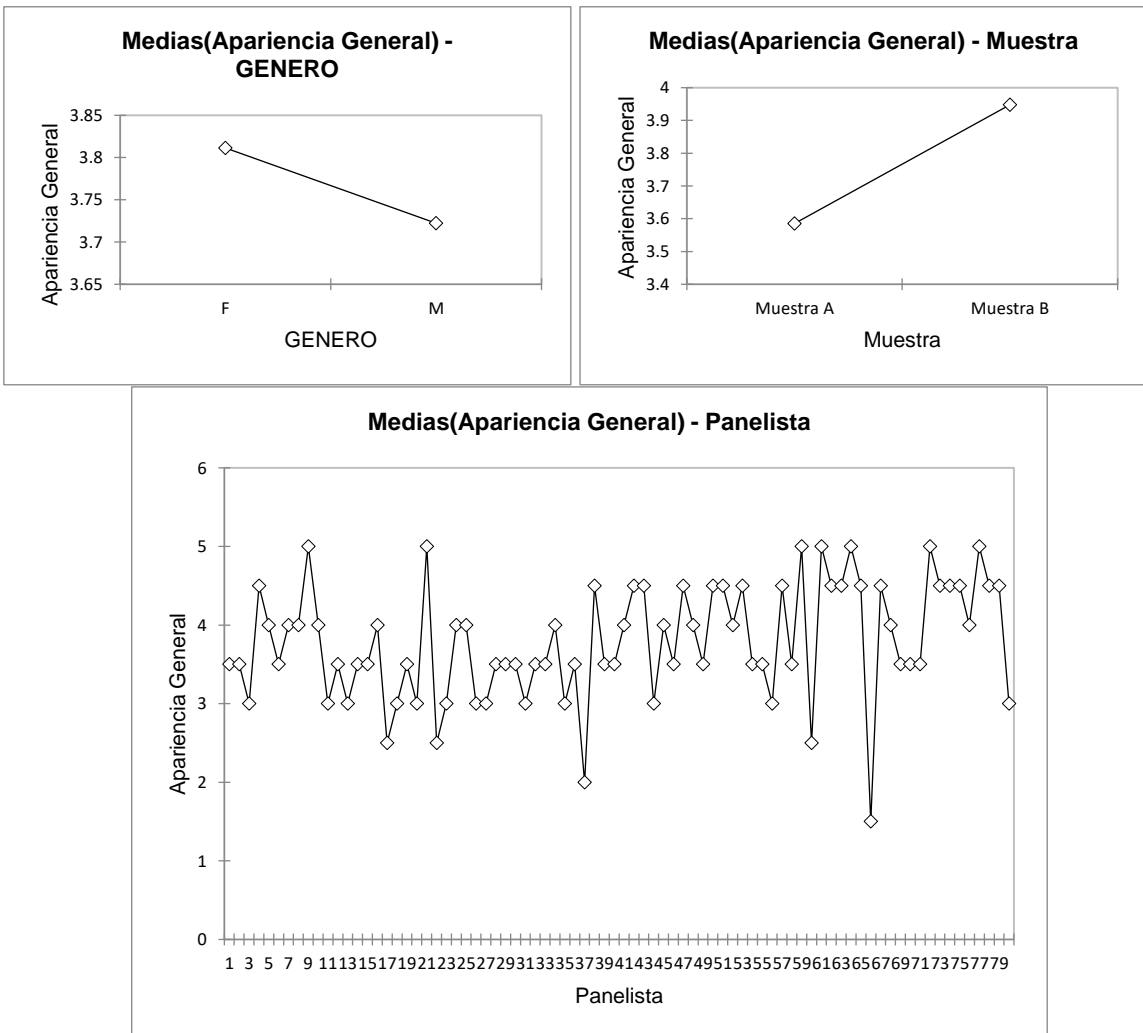
Modelo	80	89.300	1.116	1.471	<b>0.044</b>
Error	79	59.944	0.759		
Total corregido	159	149.244			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

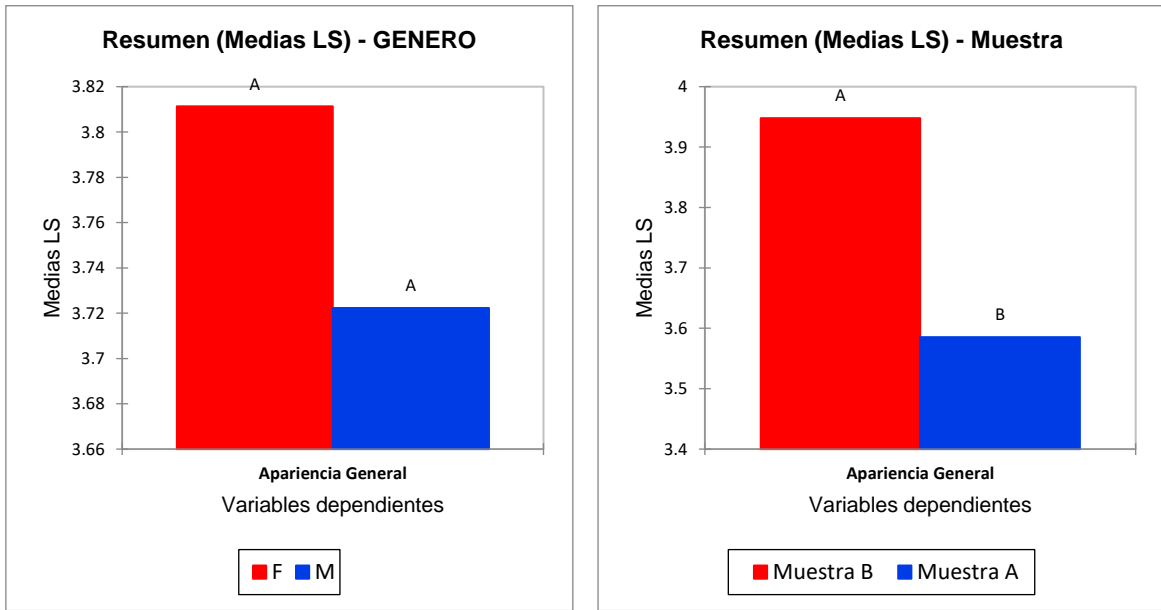
**Anexo 13: Análisis suma de cuadrados: Tipo I (Sabor):**

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Panelista	79	77.744	0.984	1.297	0.125
GENERO	0	0.000			
Muestra	1	11.556	11.556	15.230	<b>0.000</b>

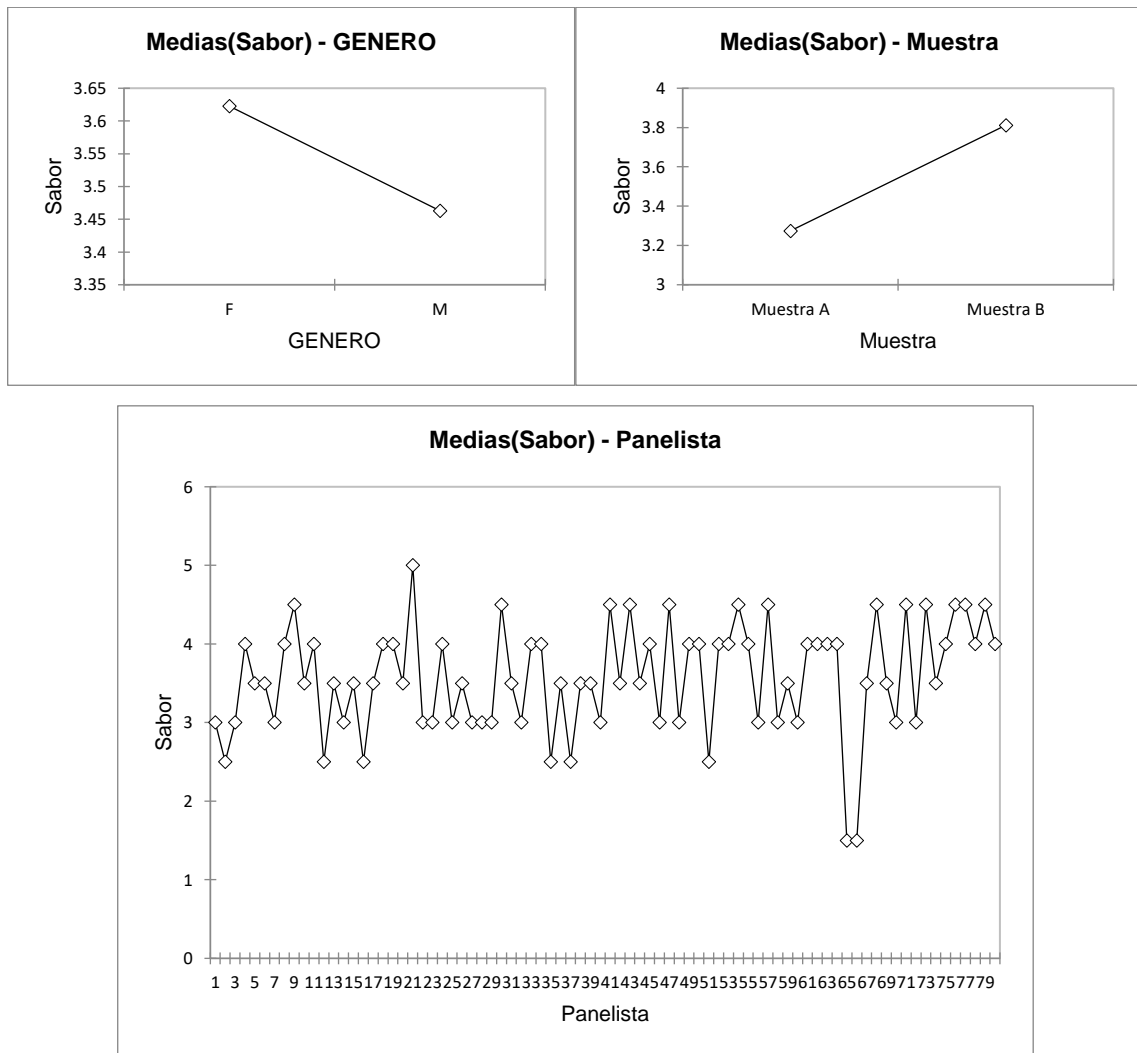
**Anexo 14: Gráficos de las medias:**

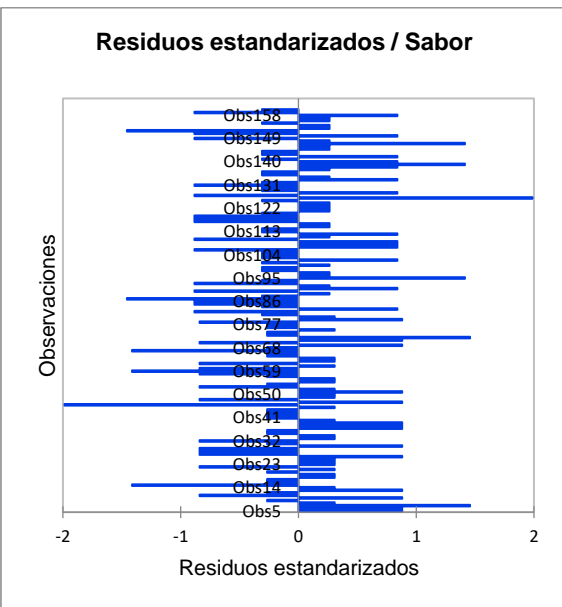
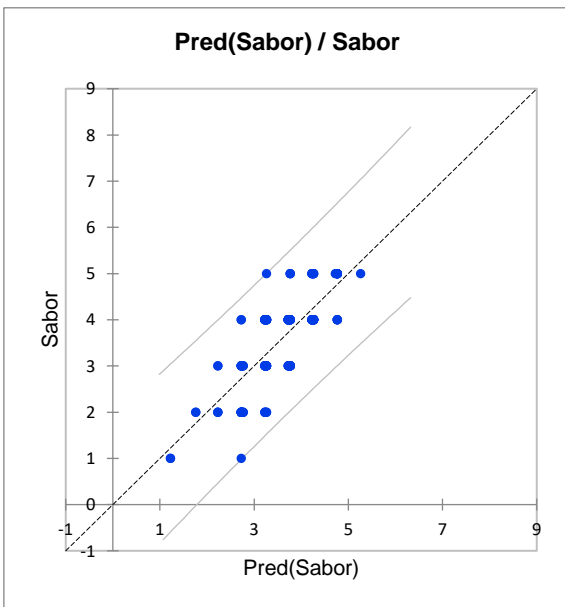
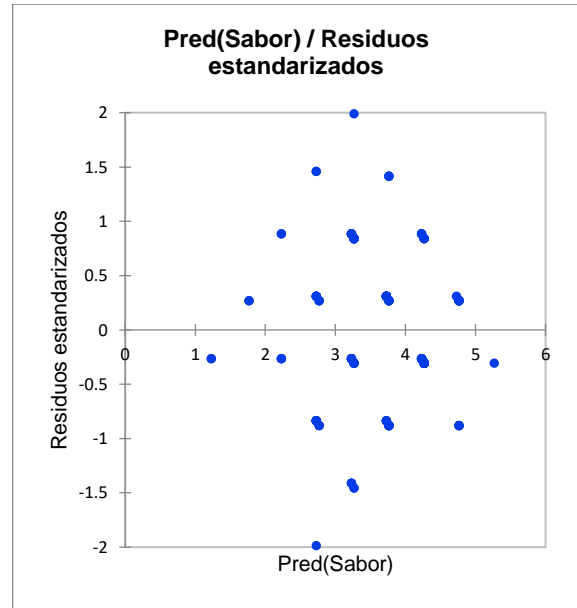


**Anexo 15: Resumen (Medias LS) – GENERO y Muestra**



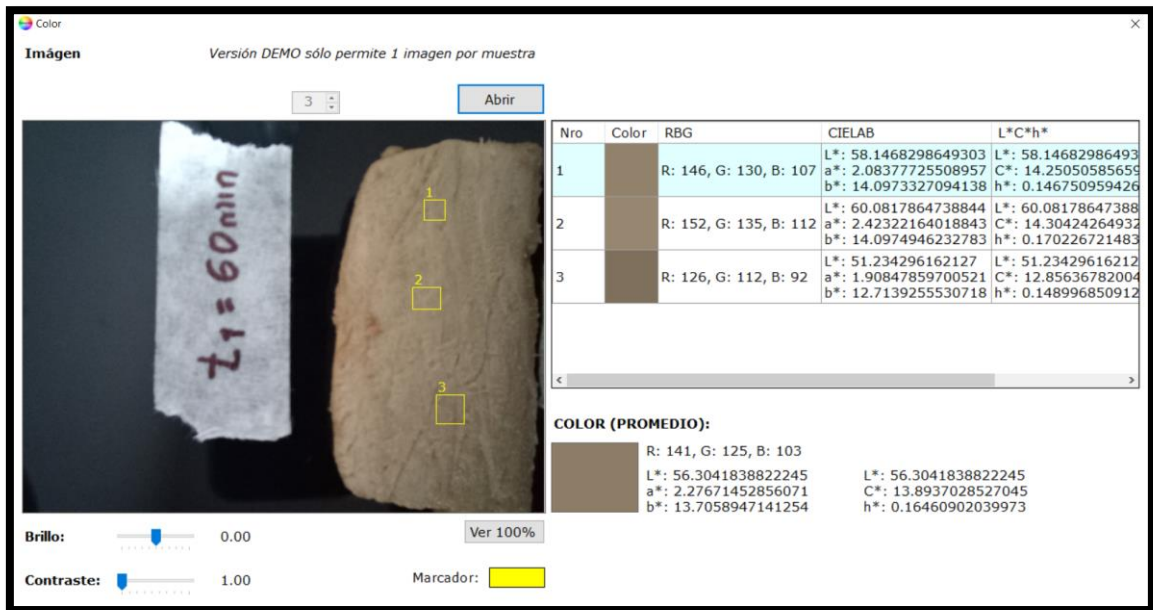
**Anexo 16: Predicciones y residuos (Sabor):**





**Anexo 17: Análisis de color (Temperatura de cocción 65°C)**

**Figura N° 27: Replica 1- tiempo1(65°C x 60min)**



**Figura N° 28: Replica 2- tiempo1(65°C x 60min)**

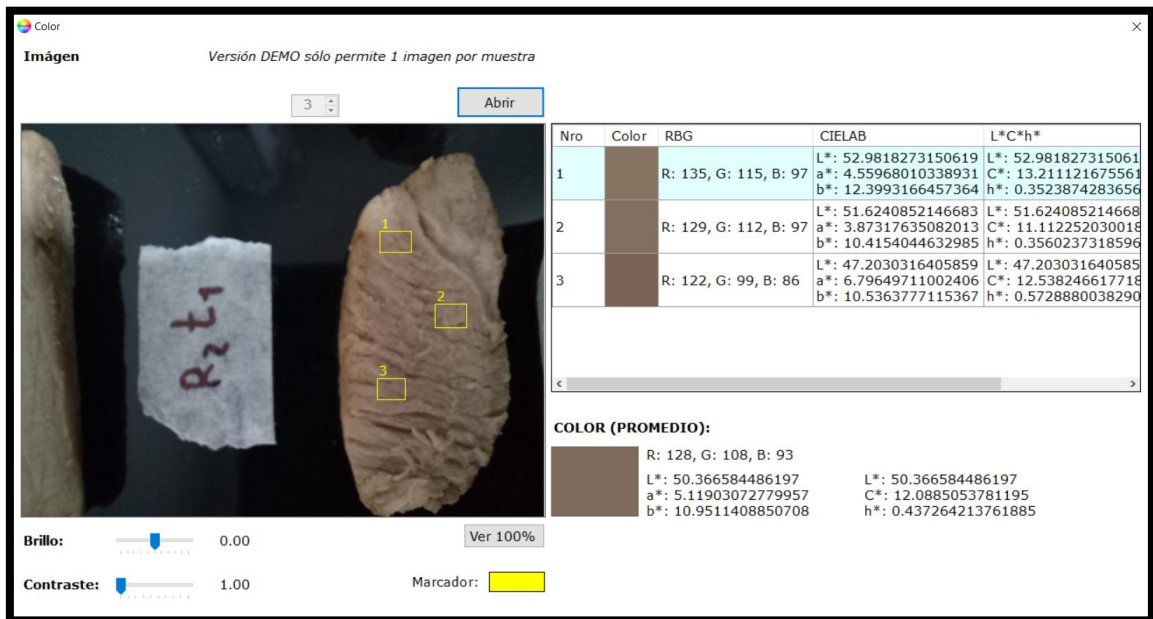




Figura N° 29: Replica 3- tiempo1(65°C x 60min)

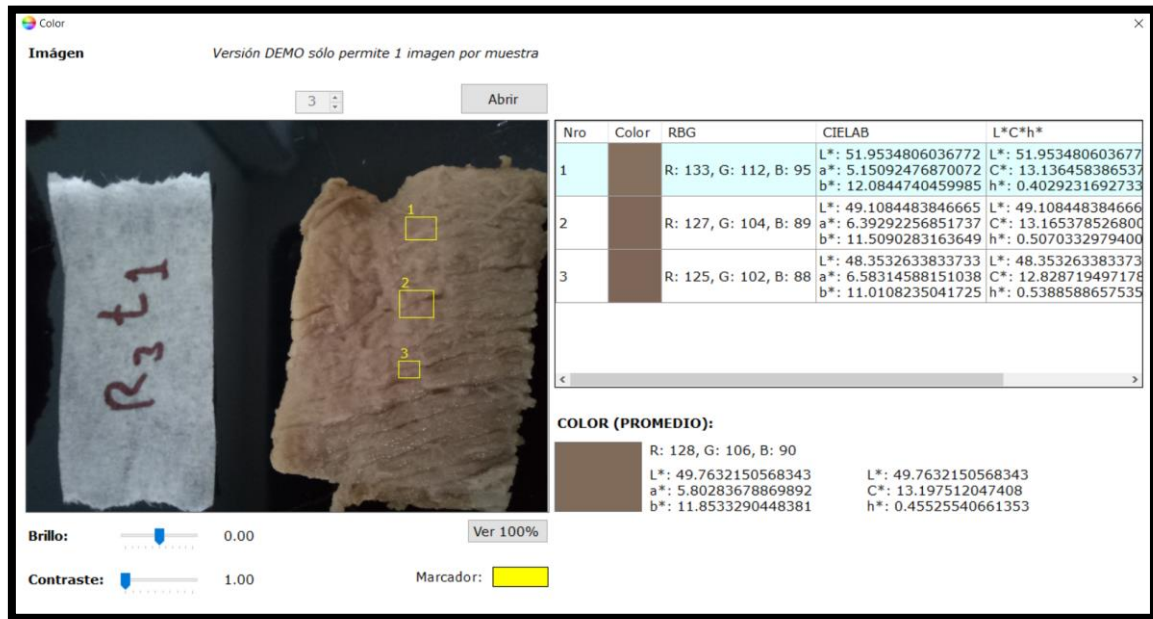


Figura N° 30: Replica 1- tiempo2(65°C x 50min)

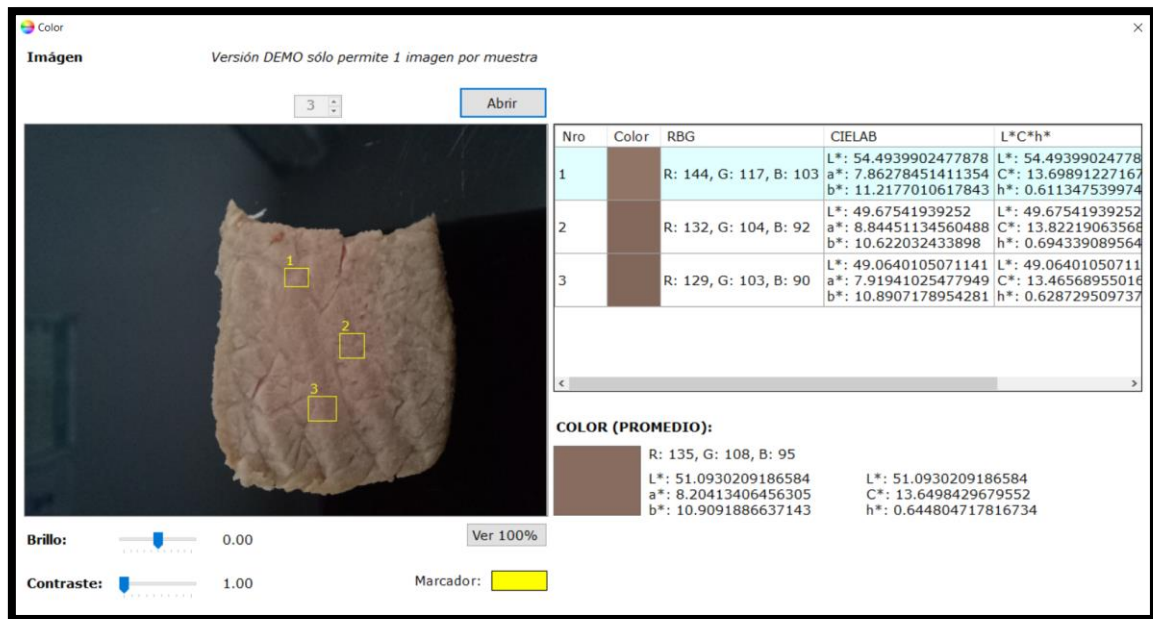


Figura N° 31: Replica 2- tiempo2(65°C x 50min)

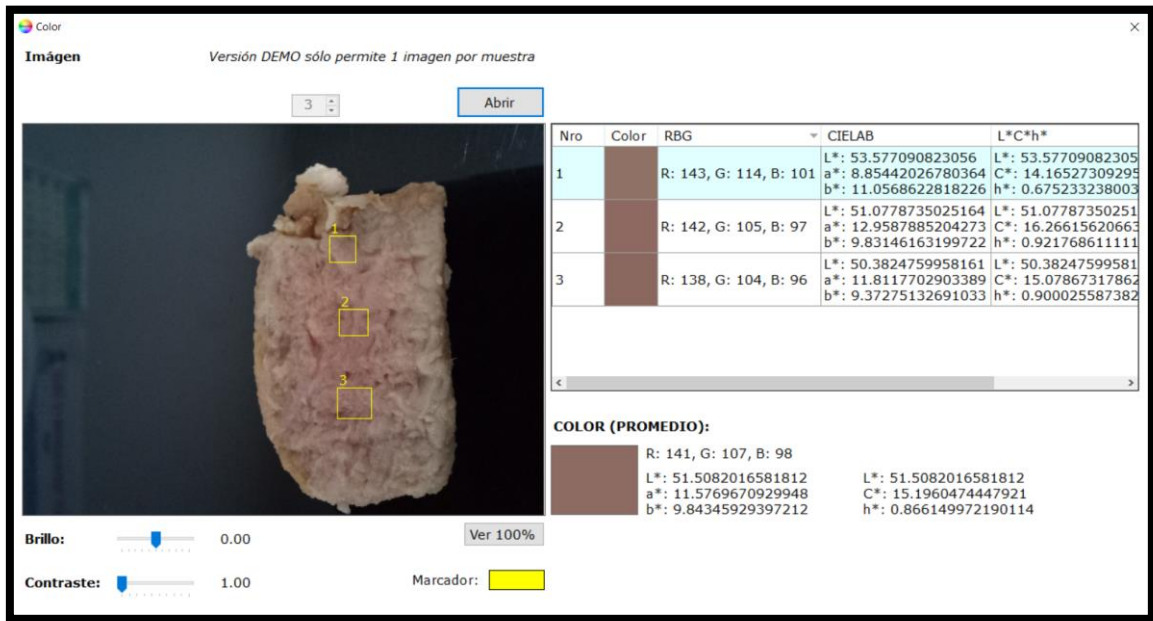


Figura N° 32: Replica 3- tiempo2(65°C x 50min)

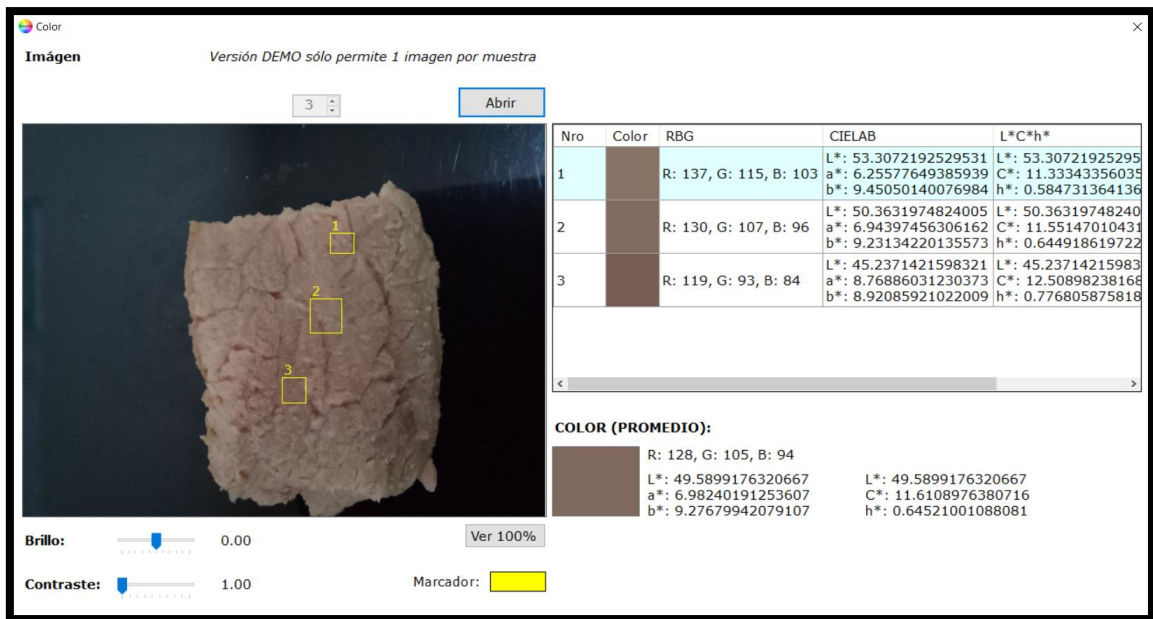


Figura N° 33: Replica 1- tiempo3(65°C x 40min)

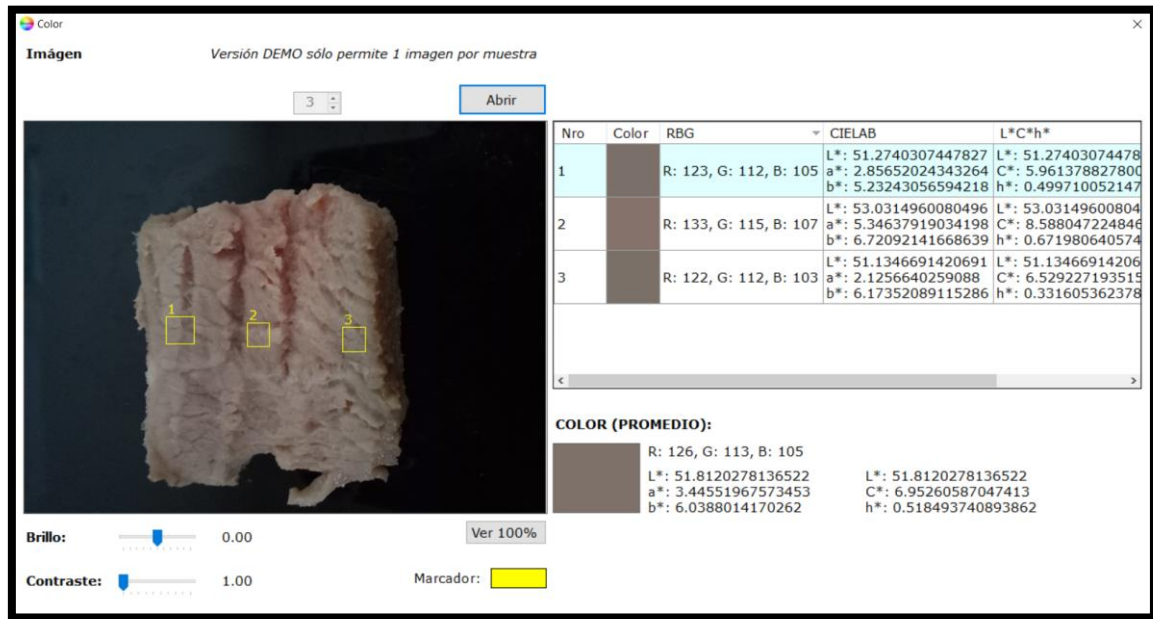


Figura N° 34: Replica 2- tiempo3(65°C x 40min)

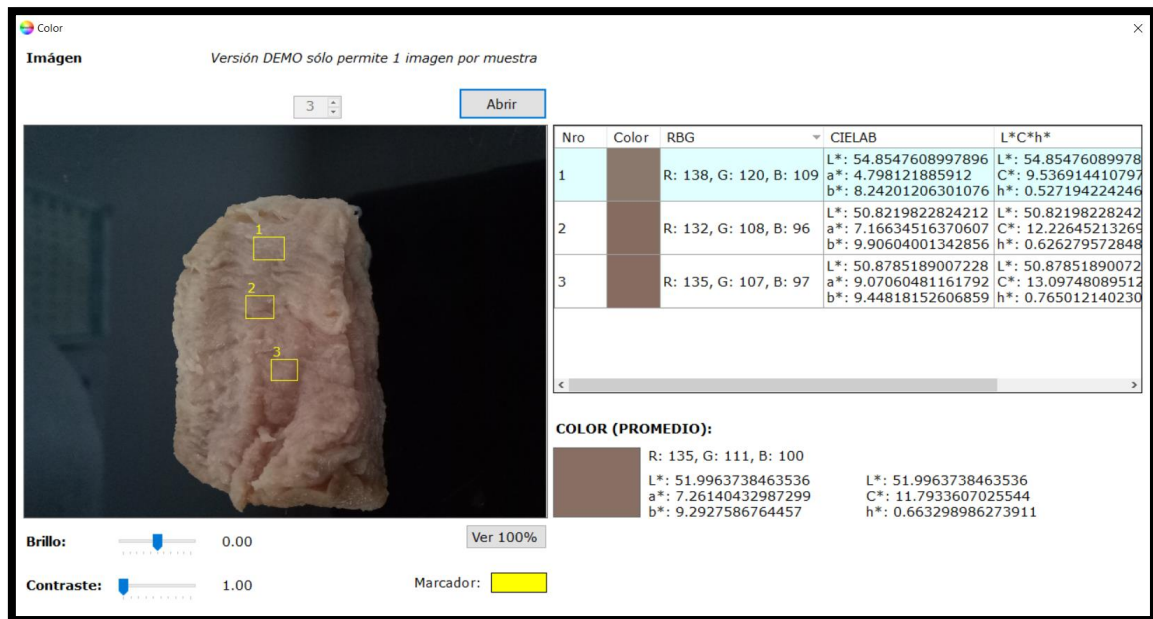


Figura N° 35: Replica 3- tiempo3(65°C x 40min)

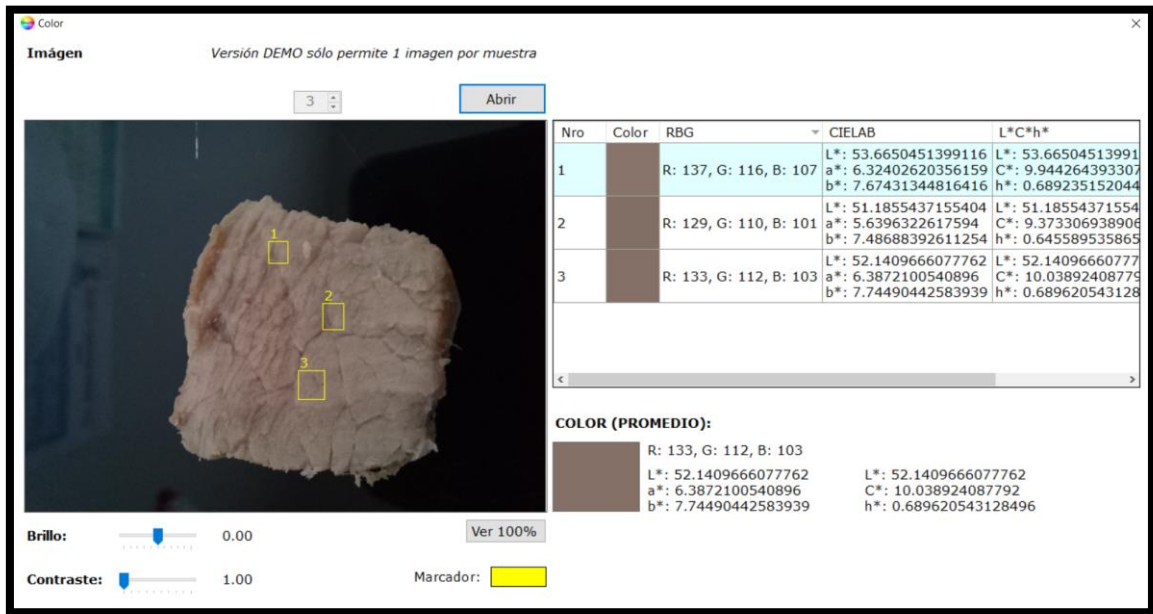


Figura N° 36: Replica 1- tiempo4(65°C x 50min)

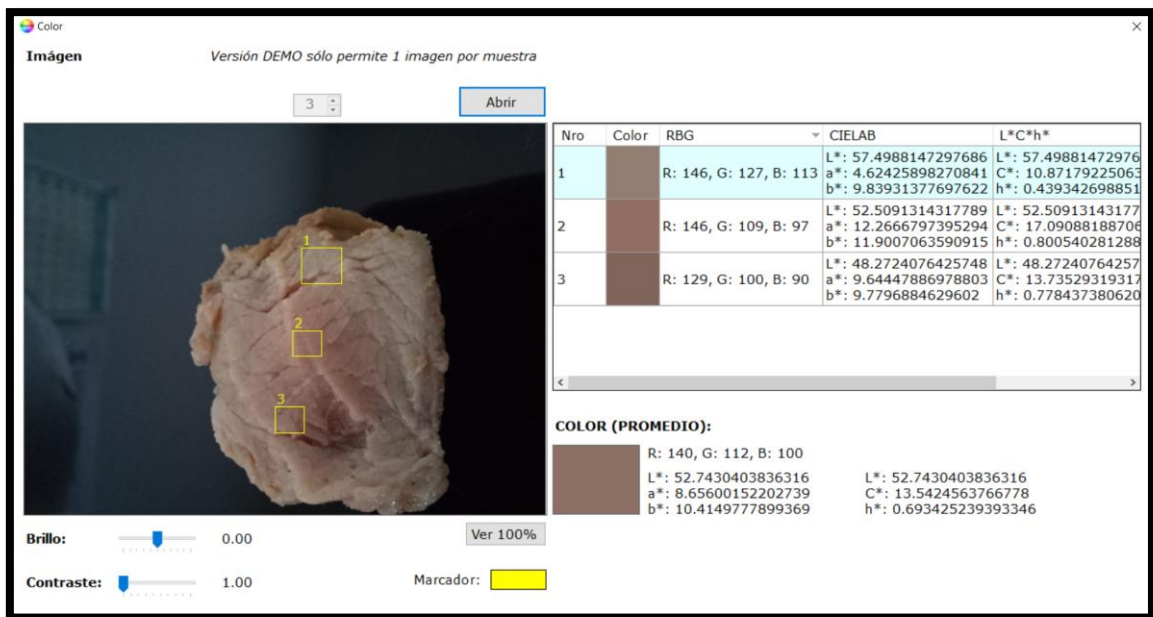


Figura N° 37: Replica 2- tiempo 4(65°C x 50min)

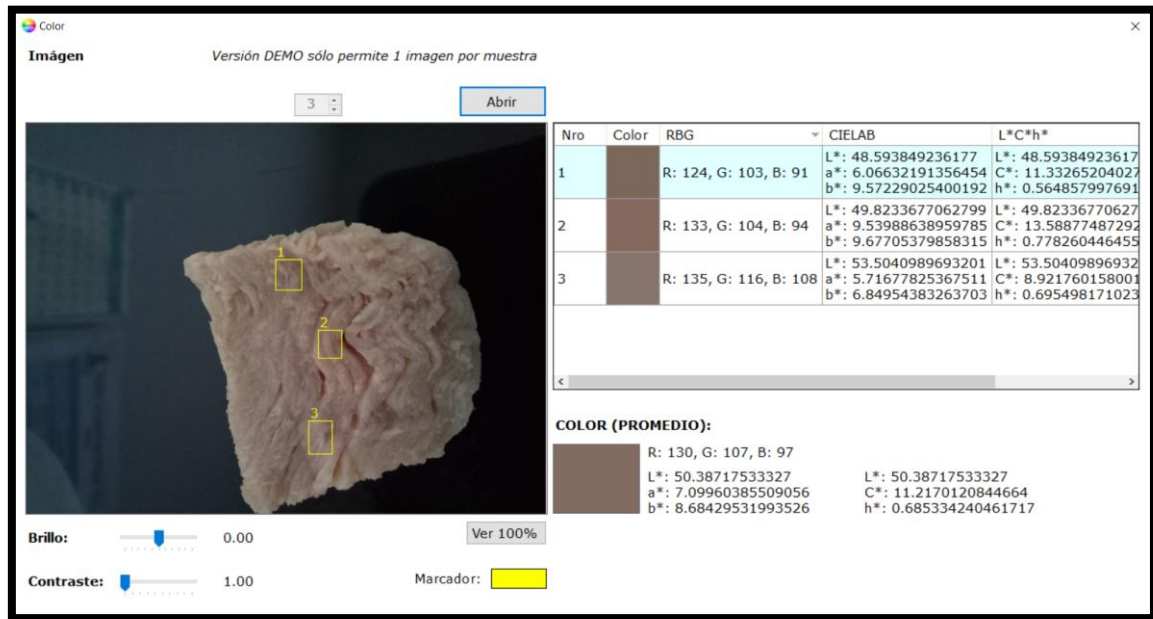
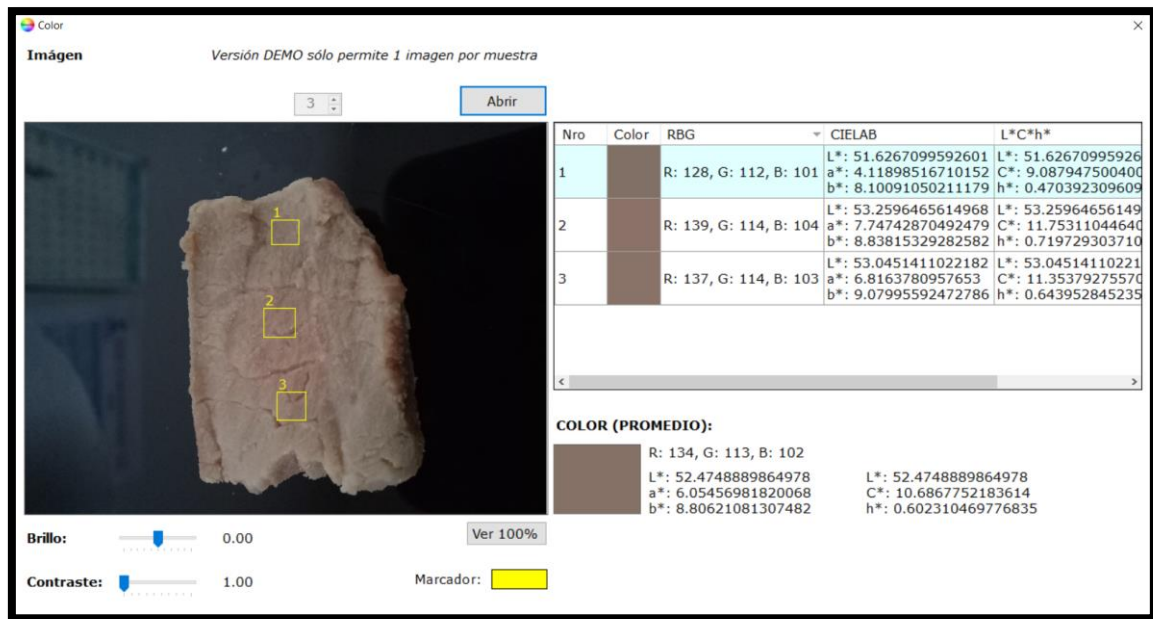
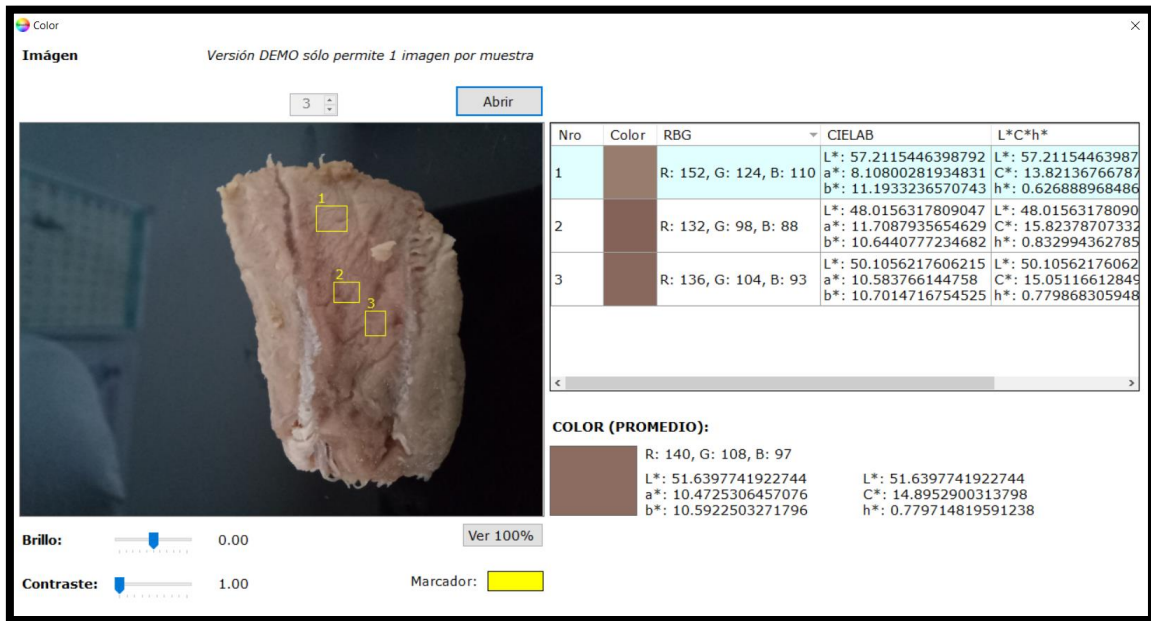


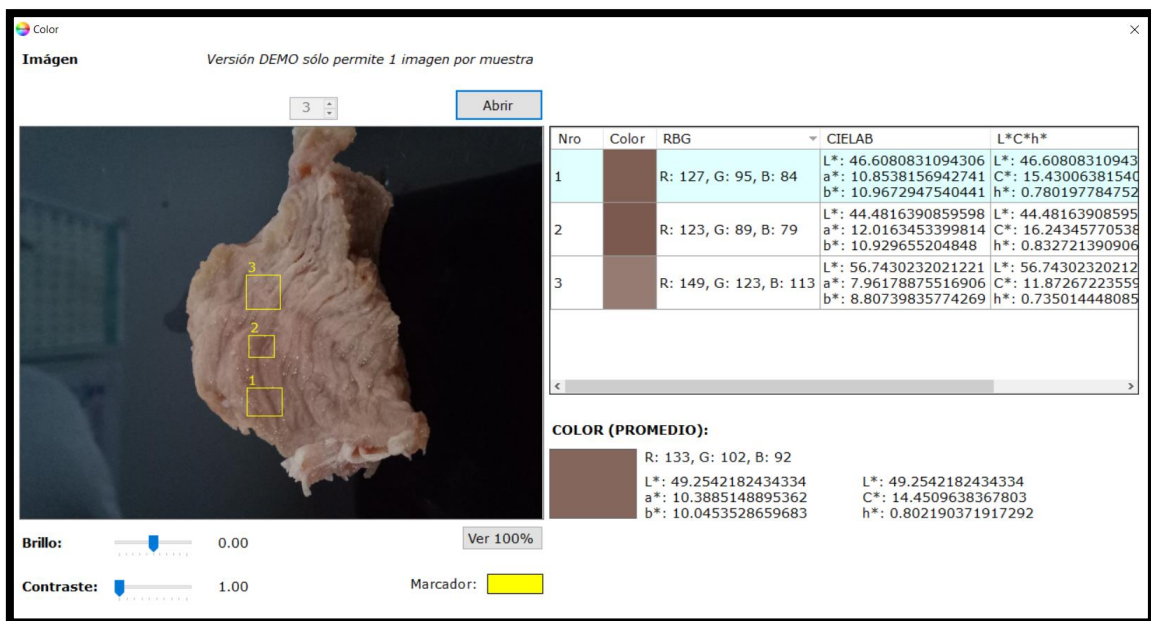
Figura N° 38: Replica 3- tiempo 4(65°C x 50min)



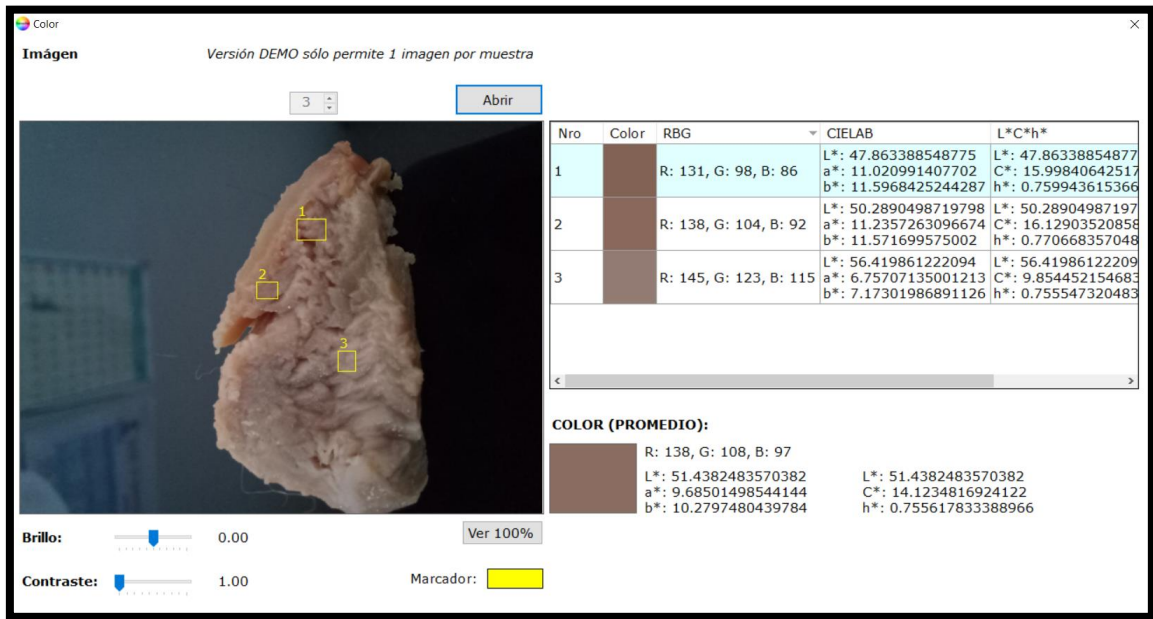
**Figura N° 39: Replica 1- tiempo 5(65°C x 60min)**



**Figura N° 40: Replica 2- tiempo5(65°C x 60min)**



**Figura N° 41: Replica 3- tiempo 5(65°C x 60min)**



**Anexo 18: Análisis de color (Temperatura de cocción 70°C)**

**Figura N° 42: Replica 1- tiempo1(70°C x 20min)**

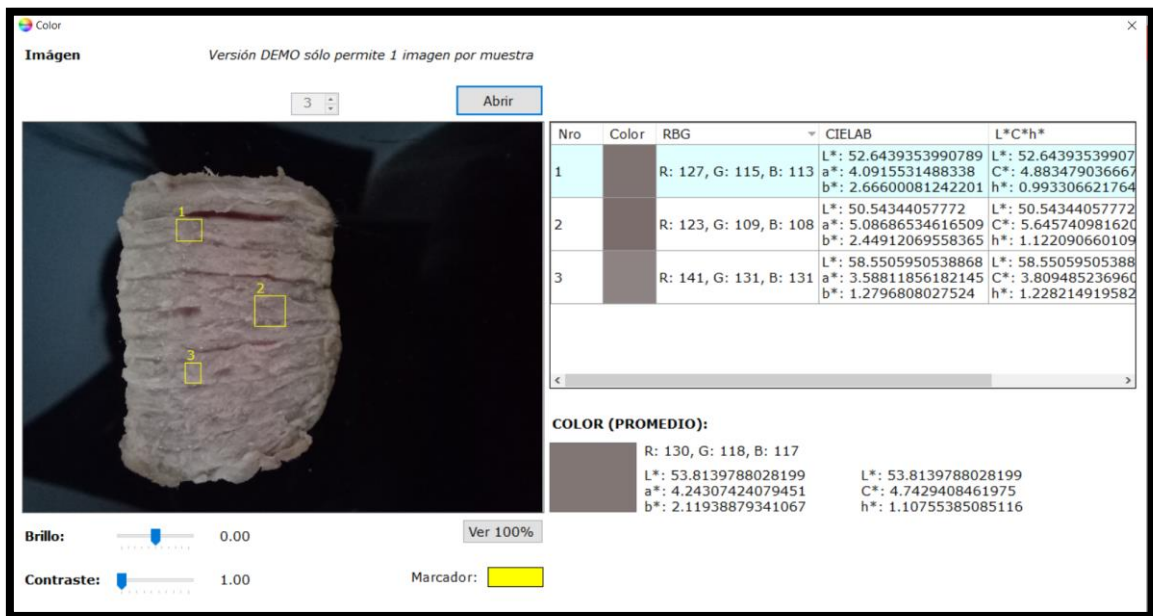


Figura N° 43: Replica 2 - tiempo 1(70°C x 20min)

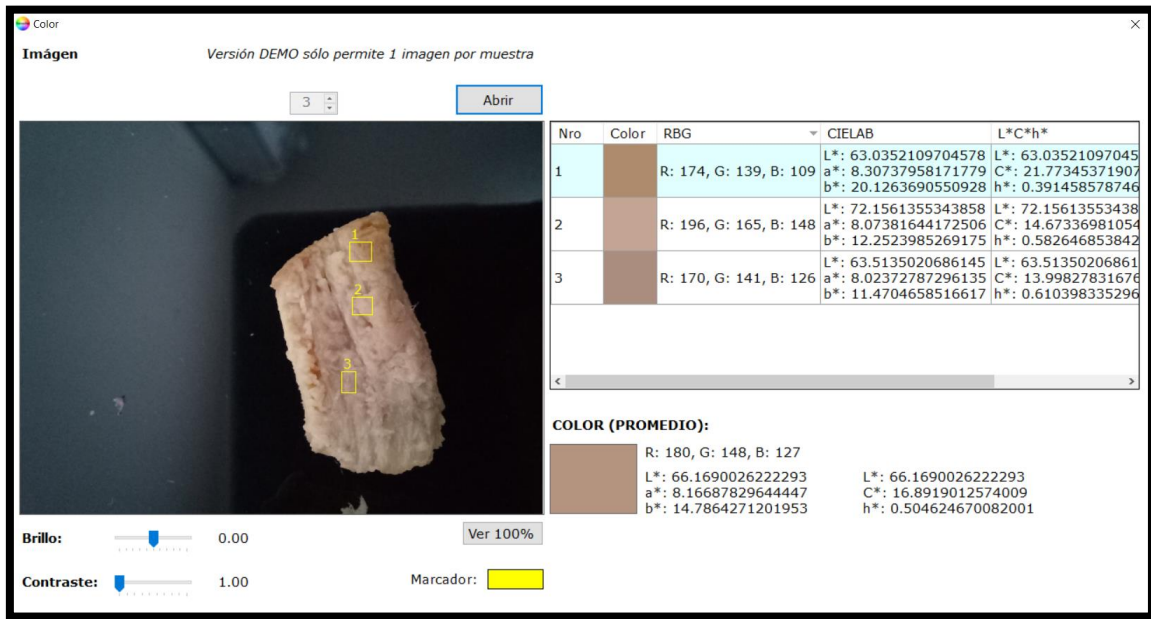


Figura N° 44: Replica 3- tiempo 1(70°C x 20min)

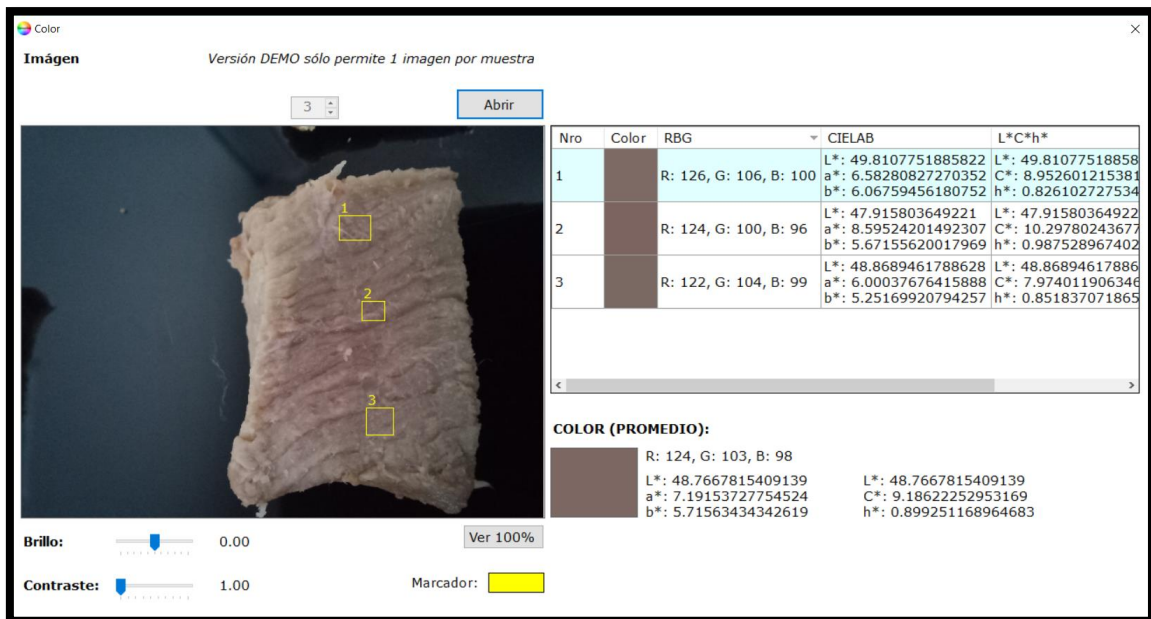




Figura N° 45: Replica 1- tiempo2(70°C x 30min)

Imágen Versión DEMO sólo permite 1 imagen por muestra

3

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 138, G: 108, B: 85	L*: 51.175014528918 a*: 8.00925061782071 b*: 16.8606120102345	L*: 51.175014528918 C*: 18.666235100274 h*: 0.4434705920608
2		R: 126, G: 96, B: 77	L*: 46.6099070143202 a*: 8.88649786243795 b*: 15.1169981521776	L*: 46.609907014320 C*: 17.535491934703 h*: 0.5314363219305
3		R: 121, G: 96, B: 75	L*: 46.0469711773695 a*: 6.53121644618981 b*: 15.4527958307263	L*: 46.046971177369 C*: 16.776343083434 h*: 0.3998835607703

**COLOR (PROMEDIO):**

R: 128, G: 100, B: 79  
 L\*: 47.9232582218808  
 a\*: 7.67324744300635  
 b\*: 15.761633872751  
 L\*: 47.9232582218808  
 C\*: 17.5301976218254  
 h\*: 0.453056783178942

Brillo: 0.00   
 Contraste: 1.00 Marcador:

Figura N° 46: Replica 2- tiempo2(70°C x 30min)

Imágen Versión DEMO sólo permite 1 imagen por muestra

3

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 121, G: 108, B: 98	L*: 49.8326782300354 a*: 3.15223420500432 b*: 7.19864492694786	L*: 49.83267823003 C*: 7.858566616595 h*: 0.412740021058
2		R: 133, G: 119, B: 109	L*: 54.1408430331537 a*: 3.44097803000176 b*: 7.16429866736161	L*: 54.14084303315 C*: 7.947798764315 h*: 0.447759843269
3		R: 121, G: 106, B: 100	L*: 49.3406203893068 a*: 4.63277944711743 b*: 5.33193936454293	L*: 49.34062038930 C*: 7.063442701175 h*: 0.715349424003

**COLOR (PROMEDIO):**

R: 125, G: 111, B: 102  
 L\*: 51.1083437616969  
 a\*: 3.68179271650143  
 b\*: 6.7490859133569  
 L\*: 51.1083437616969  
 C\*: 7.68802694279589  
 h\*: 0.49940074808393

Brillo: 0.00   
 Contraste: 1.00 Marcador:

Figura N° 47: Replica 3- tiempo2(70°C x 30min)

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 143, G: 122, B: 107	L*: 55.788264522835 a*: 5.30163123587513 b*: 10.7573686313221	L*: 55.78826452228 C*: 11.99284260012 h*: 0.457900952320
2		R: 128, G: 106, B: 93	L*: 49.8324613756081 a*: 6.2570972681425 b*: 10.2015289656874	L*: 49.83246137560 C*: 11.96755862574 h*: 0.550177141566
3		R: 135, G: 114, B: 105	L*: 52.9045040319652 a*: 6.3552675128809 b*: 7.70923420304304	L*: 52.90450403196 C*: 9.991081881240 h*: 0.689425540344

**COLOR (PROMEDIO):**  
 R: 135, G: 114, B: 101  
 L\*: 52.8090542918786  
 a\*: 5.72726687112413  
 b\*: 9.86532021448512  
 L\*: 52.8090542918786  
 C\*: 11.4072840215103  
 h\*: 0.525991853863739

Figura N° 48: Replica 1- tiempo3(70°C x 40min)

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 125, G: 110, B: 101	L*: 50.8142098646909 a*: 4.08083853815949 b*: 6.90736555139133	L*: 50.81420986469 C*: 8.022776454262 h*: 0.533623785609
2		R: 122, G: 106, B: 98	L*: 49.3828180523624 a*: 4.68523202181365 b*: 6.57022053195686	L*: 49.38281805236 C*: 8.069646642621 h*: 0.619464693445
3		R: 111, G: 96, B: 86	L*: 45.3063943198162 a*: 4.07950754401815 b*: 7.70953246630461	L*: 45.30639431981 C*: 8.722343300438 h*: 0.486695605439

**COLOR (PROMEDIO):**  
 R: 119, G: 104, B: 95  
 L\*: 48.4849715235065  
 a\*: 4.14844784345259  
 b\*: 7.0058413170391  
 L\*: 48.4849715235065  
 C\*: 8.14195505203624  
 h\*: 0.534620990376255

Figura N° 49: Replica 2- tiempo3(70°C x 40min)

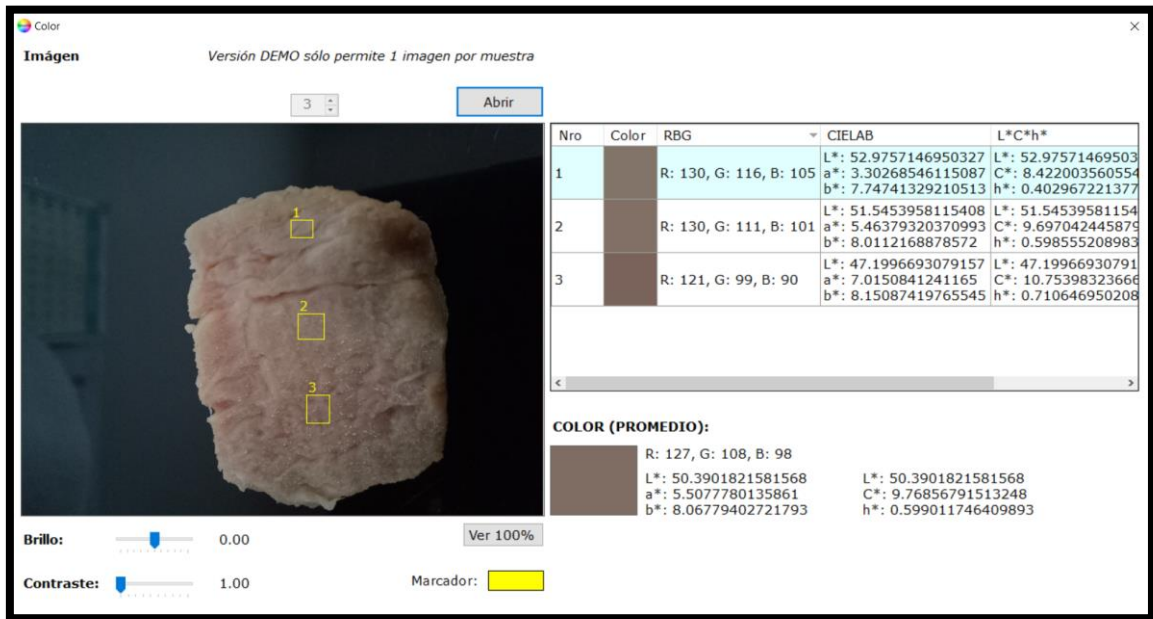


Figura N° 50: Replica 3- tiempo3(70°C x 40min)

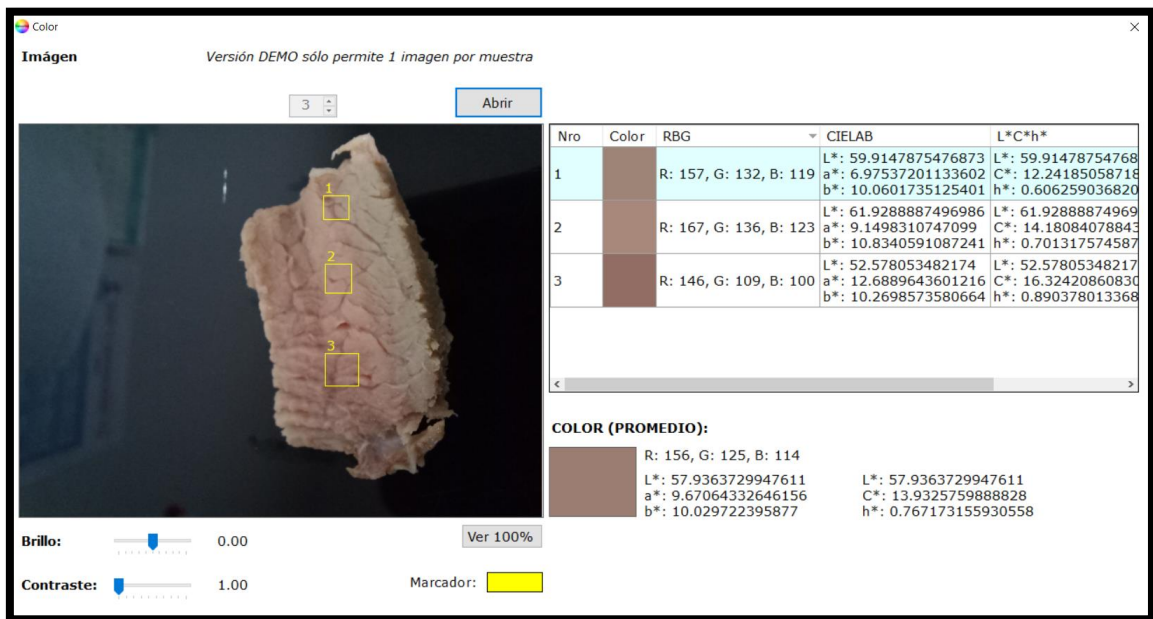


Figura N° 51: Replica 1- tiempo4(70°C x 50min)

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 129, G: 108, B: 99	L*: 50.6046790101936 a*: 6.45330962165719 b*: 7.81861042031127	L*: 50.604679010193 C*: 10.137843655214 h*: 0.6900249642249
2		R: 136, G: 109, B: 99	L*: 51.5467098638303 a*: 8.63142807518597 b*: 9.24806553140043	L*: 51.546709863830 C*: 12.650227930364 h*: 0.7509232976183
3		R: 127, G: 106, B: 96	L*: 49.8074279834331 a*: 6.32824939367704 b*: 8.40451537711433	L*: 49.807427983433 C*: 10.520580740278 h*: 0.6453917174025

**COLOR (PROMEDIO):**  
 R: 130, G: 107, B: 98  
 L\*: 50.4113961615382  
 a\*: 7.25653611200905  
 b\*: 8.13785264861806  
 L\*: 50.4113961615382  
 C\*: 10.9033005129415  
 h\*: 0.728211378700181

Figura N° 52: Replica 2- tiempo4(70°C x 50min)

Nro	Color	RGB	CIELAB	L*C*h*
1		R: 150, G: 128, B: 111	L*: 58.0736386824538 a*: 5.30026962367891 b*: 11.8181517348217	L*: 58.07363868245 C*: 12.95228043670 h*: 0.421593748465
2		R: 148, G: 124, B: 108	L*: 56.7915006045443 a*: 6.27726309643789 b*: 11.671403629202	L*: 56.79150060454 C*: 13.25238448950 h*: 0.493453784785
3		R: 148, G: 122, B: 106	L*: 56.2315449954904 a*: 7.08418152791684 b*: 12.0116422470687	L*: 56.23154499549 C*: 13.9450717411 h*: 0.532868132382

**COLOR (PROMEDIO):**  
 R: 148, G: 124, B: 108  
 L\*: 56.7915006045443  
 a\*: 6.27726309643789  
 b\*: 11.671403629202  
 L\*: 56.7915006045443  
 C\*: 13.2523844895042  
 h\*: 0.493453784785983

Figura N° 53: Replica 3- tiempo4(70°C x 50min)

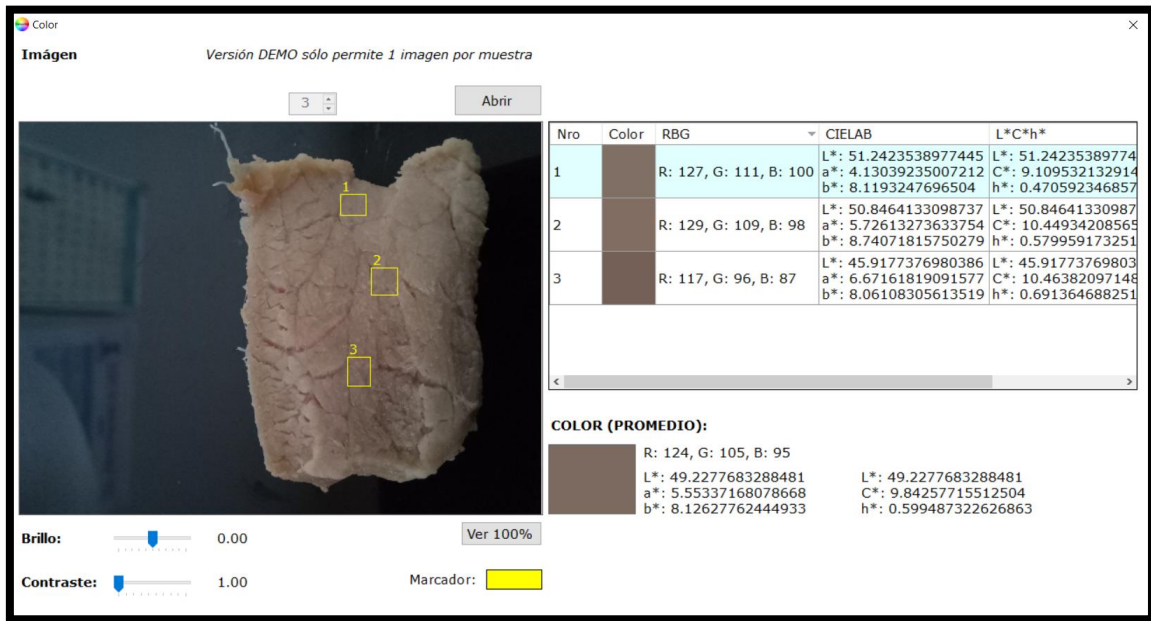


Figura N° 54: Replica 1- tiempo5(70°C x 60min)

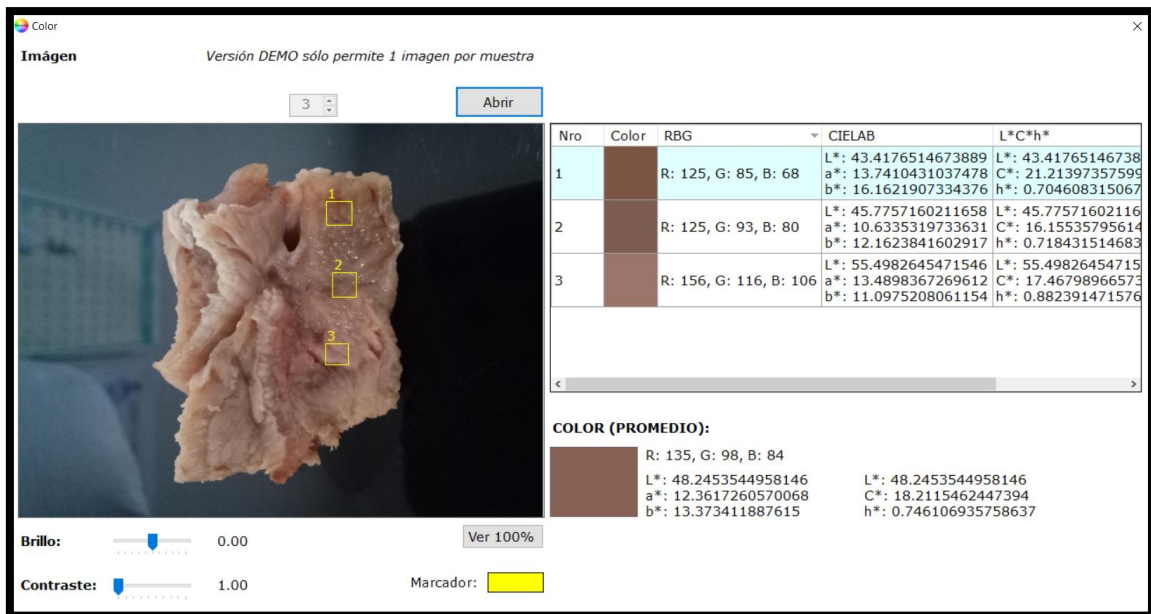


Figura N° 55: Replica 2- tiempo5(70°C x 60min)

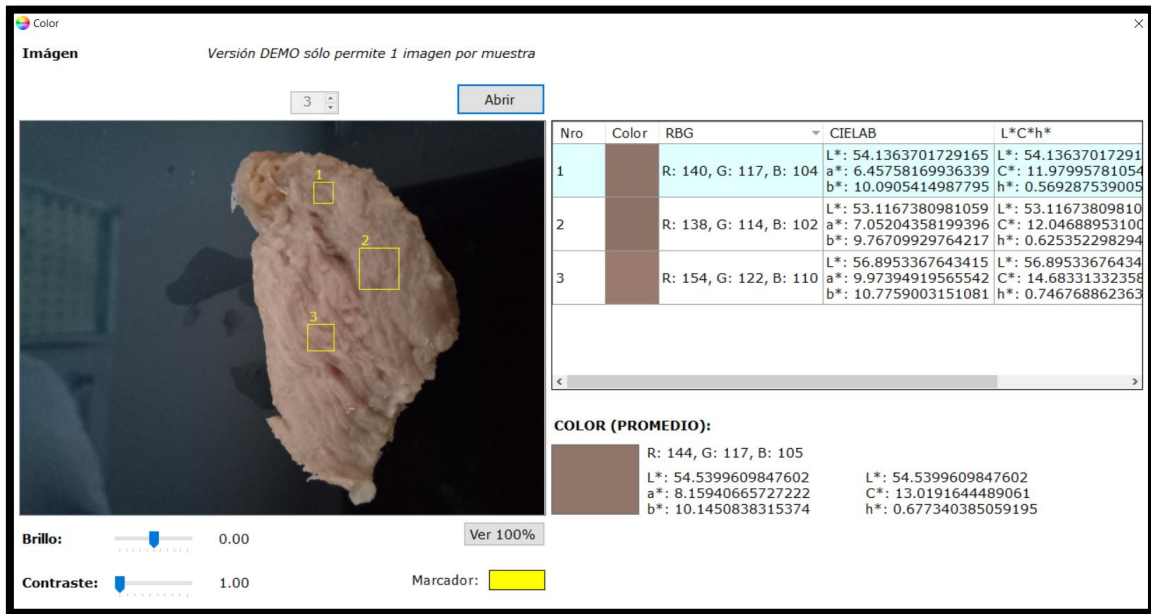
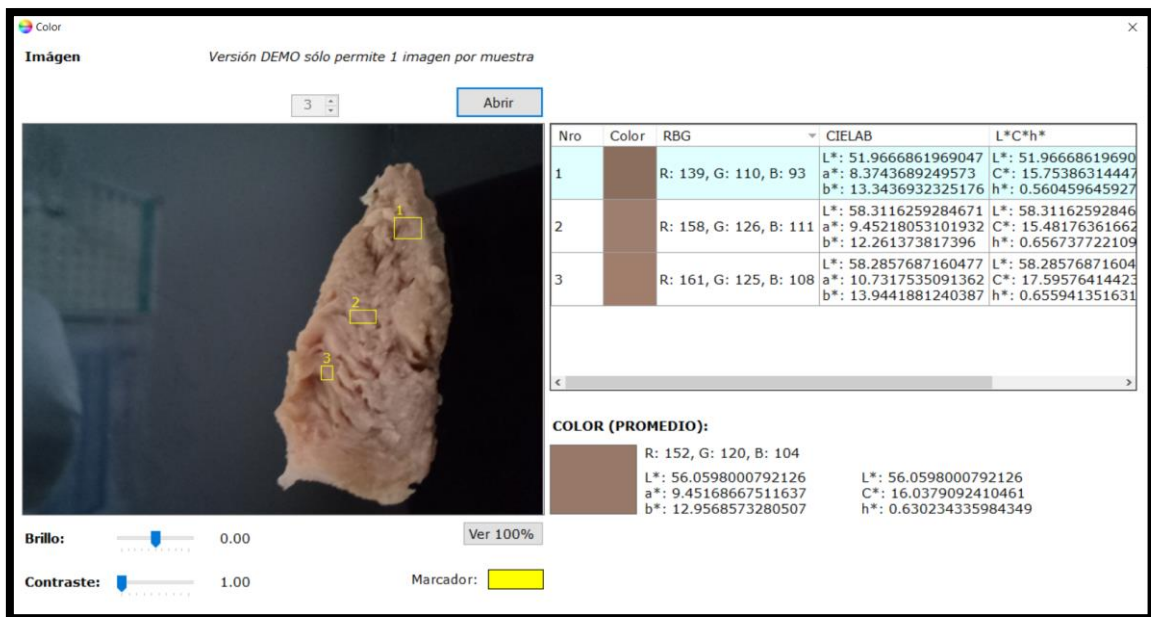


Figura N° 56: Replica 3- tiempo5(70°C x 60min)



Anexo 19: Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de Coeficiente convectivo y difusividad termina.

**PLANTILLA PARA CALCULO DE COEFICIENTE CONVECTIVO (h) Y SIMULACION DE DATOS**

**DATOS**

1.- Determinar Nre

Simbología	Valor	Unid
D	0.027	m
N	1.333	rpm
p	998.2	kg/m <sup>3</sup>
μ	1.00E-03	Pa.s
Nre	970.25	

$$N_{Re} = \frac{D v N_p}{\mu}$$

2.- Determinar Npr

Simbología	Valor	Unid
μ	9.93E-04	Pa.s
cp	4.182	kJ/kg°C
k	0.597	W/m°C
Npr	6.96E-03	

$$N_{Pr} = \frac{c_p \mu}{k}$$

3.- Determinar Nnu

Simbología	Valor	Unid
Nre	970.25	
Npr	6.96E-03	
jb	9.93E-04	Pa.s
juw	4.72E-04	Pa.s
Nnu	2.28	

$$N_{Nu} = 1.86 (N_{Re} \times N_{Pr})^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (4.64)$$

**Diametro Equivalente** Envase

Largo	30
Ancho	20
Altura	20
De	20 cm

**814 Apéndice**

**A.4 PHYSICAL PROPERTIES OF WATER AND AIR**

**Table A.4.1 Physical Properties of Water at the Saturation Pressure**

Temperature T (°C)	Density ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficient of volumetric expansion β (1/°C) (×10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup> )	Specific heat c <sub>p</sub> (kJ/kg·°C)	Thermal conductivity k (W/m·°C)	Thermal diffusivity α (×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Absolute viscosity μ (×10 <sup>-4</sup> Pa·s)	Kinematic viscosity ν (×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Prandtl number Pr
0	999.8	-0.7	4.216	0.568	0.131	1.792	1.792	1.00
5	999.7	-0.7	4.226	0.568	0.131	1.754	1.754	1.00
10	999.7	-0.7	4.235	0.567	0.131	1.716	1.716	1.00
15	999.7	-0.7	4.244	0.567	0.131	1.678	1.678	1.00
20	999.7	-0.7	4.253	0.567	0.131	1.640	1.640	1.00
25	999.7	-0.7	4.262	0.567	0.131	1.602	1.602	1.00
30	999.7	-0.7	4.271	0.567	0.131	1.564	1.564	1.00
35	999.7	-0.7	4.280	0.567	0.131	1.526	1.526	1.00
40	999.7	-0.7	4.289	0.567	0.131	1.488	1.488	1.00
45	999.7	-0.7	4.298	0.567	0.131	1.450	1.450	1.00
50	999.7	-0.7	4.307	0.567	0.131	1.412	1.412	1.00
55	999.7	-0.7	4.316	0.567	0.131	1.374	1.374	1.00
60	999.7	-0.7	4.325	0.567	0.131	1.336	1.336	1.00
65	999.7	-0.7	4.334	0.567	0.131	1.298	1.298	1.00
70	999.7	-0.7	4.343	0.567	0.131	1.260	1.260	1.00
75	999.7	-0.7	4.352	0.567	0.131	1.222	1.222	1.00
80	999.7	-0.7	4.361	0.567	0.131	1.184	1.184	1.00
85	999.7	-0.7	4.370	0.567	0.131	1.146	1.146	1.00
90	999.7	-0.7	4.379	0.567	0.131	1.108	1.108	1.00
95	999.7	-0.7	4.388	0.567	0.131	1.070	1.070	1.00
100	999.7	-0.7	4.397	0.567	0.131	1.032	1.032	1.00

Anexo 20: Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de Coeficiente convectivo y difusividad termina, cálculo de Numero de biot.

**3.- Determinar Nnu**

Simbología	Valor	Unid
Nre	970.25	
Npr	6.96E-03	
jb	9.93E-04	Pa.s
juw	4.72E-04	Pa.s
Nnu	2.28	

$$N_{Nu} = 1.86 (N_{Re} \times N_{Pr})^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (4.64)$$

**4.- Determinar Coeficiente Convectivo (h)**

Simbología	Valor	Unid
k	0.597	kg/m <sup>3</sup>
Nnu	2.28	
d <sub>e</sub>	0.2	m
h	6.805	W/m <sup>2</sup> C

$$h = \frac{N_{Nu} k}{d_e}$$

**5.- Determinar NBI**

Simbología	Valor	Unid
h	6.805	W/m <sup>2</sup> C
s	0.01	m
k	0.471	W/m°C
Bi(x)	0.144	
Bi(y)	0.351	
Bi(z)	0.325	

$$Bi = \frac{h x}{k}$$

**Diametro Equivalente** Envase

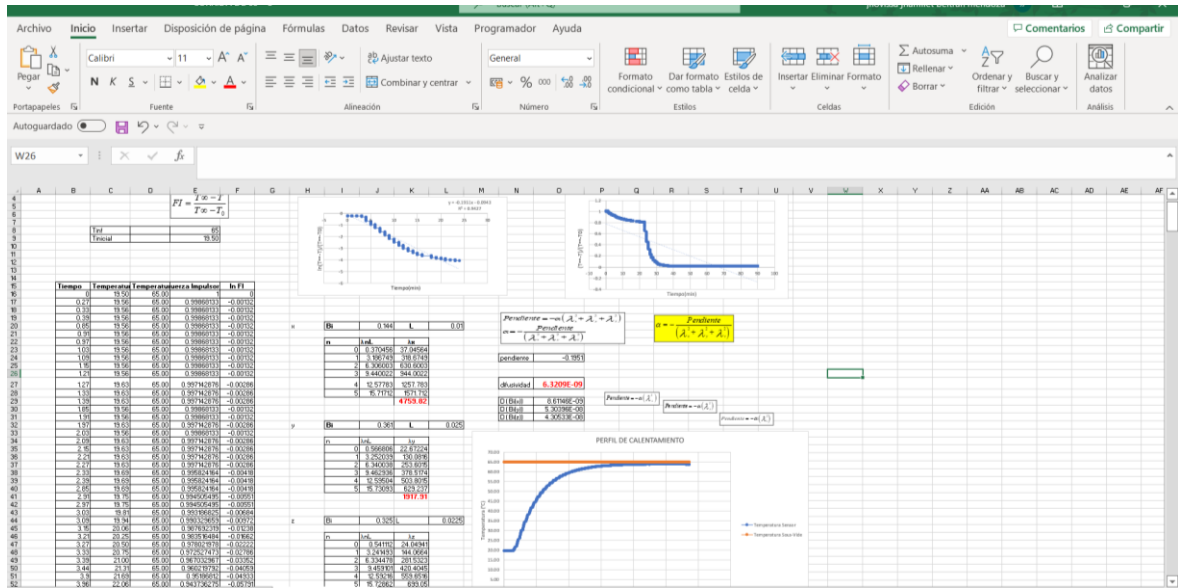
Largo	30
Ancho	20
Altura	20
De	20 cm

**Figure 4.24** Cross section of a rectangular duct

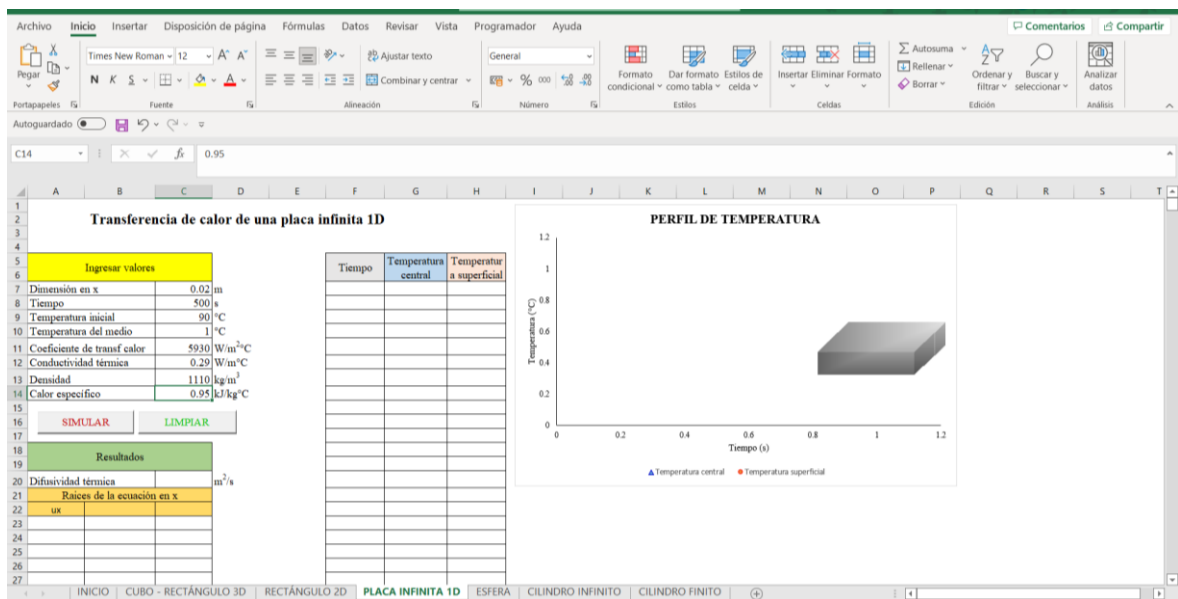
$$D_e = \frac{4 \times \text{free area wetted perimeter}}{\quad} \quad (4.68)$$

Figure 4.24 shows a rectangular duct with sides of length W and H. The equivalent diameter in this case will be equal to  $2W/(W+H)$ .

**Anexo 21:** Captura de pantalla de la plantilla utilizada para el cálculo de difusividad térmica considerando la forma de lámina del alimento.



**Anexo 22:** Plantilla utilizada para la simulación de datos de la difusividad térmica.





### *Anexo 23: Programación de color*

```
%%
clear;
clc;
%%
%% capture the video frames using the videoinput function
vid=videoinput('winvideo',1);
set(vid, 'FramesPerTrigger', Inf);%establecer las
propiedades del objeto de video
set(vid, 'ReturnedColorspace', 'rgb')
vid.FrameGrabInterval=5;%especifica la frecuencia con la
que desea adquirir el marco de la secuencia de video
start(vid)%aquí inicia la adquisiscion de video
data=getsnapshot(vid);%obtener la instantania del
fotograma actual
stop(vid);%para la adquisiscion de video
flushdata(vid);%vaciar todos los datos de la imagen
almacenados en el bufer de la memoria.
%% Aquí inicia el código del pdf
im=data;
%im=imread('tomate2.jpg');
img=rgb2gray(im);
[NFIL ncol]=size(img);
for i=1:NFIL
    for j=1:ncol
        if img(i,j)<85;
            img(i,j)=250;
        end
    end
end %linea 4 ok
%%
th=0.90;
imbw=im2bw(img,th);
IMGC=imcomplement(imbw);
IMGC=imfill(IMGC,'holes');
[imge n]=bwlabel(IMGC);
stats=regionprops(imge,'all');
area=zeros(1,n); %linea 11 ok
%para graficar
subplot(1,2,1)
imshow(IMGC)
%%
for i=1:n
    area(i)=stats(i).Area;
end
k=0;
```

```

for i=1:n
    if max(area)==stats(i).Area
        k=i;
        cn=stats(k).Centroid;
        deq=stats(k).EquivDiameter;
        hold on
        plot(cn(1),cn(2),'*r')
        hold off
        break %stop process
    end
end %linea 14 ok
%%%%%
POSP=stats(k).PixelList;
save POSP POSP;
[NFIL ncol]=size(POSP); %ERROR -
%%%%%
for i=1:NFIL; %line 15
    x(i)=POSP(i,1);
    y(i)=POSP(i,2); %ERROR and
    R(i)=im(y(i),x(i),1);
    G(i)=im(y(i),x(i),2);
    B(i)=im(y(i),x(i),3);
end %linea 16 ok
%para graficar
subplot(1,2,2)
image(label2rgb(imge));
IMAR=double(R)/255;
imag=double(G)/255;
IMAB=double(B)/255; %linea 18 ok
%%%%%
[NFIL ncol]=size(IMAR);
for i=1:NFIL
    for j=1:ncol
        if(IMAR(i,j)>0.04045);
            IMAR(i,j)=((IMAR(i,j)+0.055)/1.055)^2.4;
%OJO verificar valor 1055
        else
            IMAR(i,j)=IMAR(i,j)/12.92;
        end
    end
end
end %linea 19 1er bucle ok
%%%%%
for i=1:NFIL
    for j=1:ncol
        if(imag(i,j)>0.04045);
            imag(i,j)=((imag(i,j)+0.055)/1.055)^2.4;
%OJO verificar valor 1055

```

```

        else
            imag(i,j)=imag(i,j)/12.92;
        end
    end
end
    %linea 19 2do bucle ok
%%%%%%
for i=1:NFIL
    for j=1:ncol
        if(IMAB(i,j)>0.04045);
            IMAB(i,j)=((IMAB(i,j)+0.055)/1.055)^2.4;
%OJO verificar valor 1055
        else
            IMAB(i,j)=IMAB(i,j)/12.92;
        end
    end
end
end
    %linea 19 3er bucle ok
%%
IMAR=IMAR*100;
imag=imag*100;
IMAB=IMAB*100;
X=IMAR.*0.4124+imag.*0.3576+IMAB.*0.1805;
Y=IMAR.*0.2126+imag.*0.7152+IMAB.*0.0722;
Z=IMAR.*0.0193+imag.*0.1192+IMAB.*0.9505; %linea 20 ok
%%%%%%
var_x=X./95.047;
var_y=Y./100.000;
var_z=Z./108.883; %linea 21 ok
%%%%%%
[NFIL ncol]=size(var_x); %linea 22 ok
for i=1:NFIL;
    for j=1:ncol;
        if (var_x(i,j)>0.008856);
            var_x(i,j)=var_x(i,j).^(1/3);
        else
            var_x(i,j)=(7787*var_x(i,j))+(16/116);
        end
    end
end
end
for i=1:NFIL;
    for j=1:ncol;
        if (var_y(i,j)>0.008856);
            var_y(i,j)=var_y(i,j).^(1/3);
        else
            var_y(i,j)=(7787*var_y(i,j))+(16/116);
        end
    end
end
end
end

```

```

for i=1:NFIL;
    for j=1:ncol;
        if (var_z(i,j)>0.008856);
            var_z(i,j)=var_z(i,j).^(1/3);
        else
            var_z(i,j)=(7787*var_z(i,j))+16/116);
        end
    end
end
end          %linea 23 ok
%%%%%%%%%%
L=(116*var_y)-16;
a=500*(var_x - var_y);
b=200*(var_y - var_z); %liena 24

```

## **Anexo 24: Programación de simulación de datos**

```
Sub simulacion_calentamiento_sous_vide()  
  
'Definir las variables de la simulación  
  Dim espesores(4) As Double  
  Dim temperatura_objetivo(1) As Double  
  Dim tasa_cambio_temperatura As Double  
  
'Establecer los valores iniciales de las variables  
  espesores(0) = 2  
  espesores(1) = 2.5  
  espesores(2) = 3  
  espesores(3) = 3.5  
  espesores(4) = 4  
  
  temperatura_objetivo(0) = 65  
  temperatura_objetivo(1) = 70  
  
  tasa_cambio_temperatura = 0.5  
  
'Definir las variables para la tabla de resumen  
  Dim tiempo_calentamiento(1, 4) As Double  
  Dim tiempo_promedio(4) As Double  
  
  'Inicializar la tabla de resumen  
  Range("A1").Value = "Resumen de la simulación"  
  Range("A2").Value = "Espesor"  
  Range("B2").Value = "Tiempo de calentamiento a 65°C"  
  Range("C2").Value = "Tiempo de calentamiento a 70°C"  
  
'Ejecutar la simulación para cada espesor y temperatura  
objetivo  
  For i = 0 To 4  
    For j = 0 To 1  
      'Inicializar la simulación  
      Dim tiempo_actual As Double  
      Dim temperatura_actual As Double  
      Dim punto_central As Double  
  
      punto_central = espesores(i) / 2  
      tiempo_actual = 0  
      temperatura_actual = 20  
  
      'Ejecutar el bucle de simulación  
      Do While temperatura_actual <  
temperatura_objetivo(j)  
        'Actualizar la temperatura actual
```

```

        temperatura_actual = temperatura_actual
+ tasa_cambio_temperatura

    'Actualizar el tiempo actual
        tiempo_actual = tiempo_actual + 1

    'Verificar si se alcanzó la temperatura objetivo en el
punto central
        If tiempo_actual = 1 Then
            tiempo_calentamiento(j, i) =
tiempo_actual
        ElseIf temperatura_actual >=
temperatura_objetivo(j) And tiempo_calentamiento(j, i) =
0 Then
            tiempo_calentamiento(j, i) =
tiempo_actual
        End If
    Loop

    'Escribir los datos de espesor y tiempo en la hoja de
cálculo
        Range("A" y i + 3).Value = espesores(i) y "
cm"
        Range("B" y i + 3).Value =
tiempo_calentamiento(0, i) y " minutos"
        Range("C" y i + 3).Value =
tiempo_calentamiento(1, i) y " minutos"

    'Actualizar el tiempo promedio de calentamiento para el
espesor actual
        tiempo_promedio(i) = tiempo_promedio(i) +
tiempo_calentamiento(j, i)
    Next j

    'Calcular y escribir el tiempo promedio de calentamiento
para el espesor actual
        tiempo_promedio(i) = tiempo_promedio(i) / 2
        Range("D" y i + 3).Value = tiempo_promedio(i) y
" minutos"
    Next i

    'Escribir los títulos de la tabla de resumen de tiempos
promedio
    Range("F1").Value = "Tiempo promedio de
calentamiento"
    Range("F2").Value = "Espesor"
    Range("G2").Value = "Tiempo promedio a 65°C"
    Range("H2").Value = "Tiempo promedio a 70°C"

```

```
'Escribir los datos de la tabla de resumen de tiempos
promedio
    For i = 0 To 4
        Range("F" y i + 3).Value = espesores(i) y " cm"
        Range("G" y i + 3).Value = tiempo_promedio(i) y
" minutos"
        Range("H" y i + 3).Value = tiempo_promedio(i) y
" minutos"
    Next i

'Ajustar el ancho de las columnas para que se ajusten al
contenido
    Columns.AutoFit

End Sub
```

Anexo 25.-  
**GRAFICO  
RESUMEN**

