

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

**Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote
(*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO (A) EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:
Bach. Thalia Mia DE LA PEÑA ROCA
Bach. Yul Brynner PEREZ YARANGA

ASESORA:
Mg. Sc. Edith Susan PILLACA MEDINA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría para realizar este trabajo.

A mi madre, por guiar mi camino y ser mi motivo para superar todos los obstáculos.

A hermana, por siempre estar presente y darme aliento y recordarme siempre que los sueños se alcanzan con perseverancia.

A mi sobrina, por ser desde que llegó mi mayor alegría.

A mi abuelo, cuya sabiduría, esfuerzo y enseñanzas permanecerán siempre en mí.

Y a Caramelo, mi fiel compañera de vida, por su cariño sincero y por acompañarme silenciosamente en las largas jornadas de trabajo.

THALÍA

A mis padres, que, a pesar de estar lejos, siempre los siento presentes. Por inspirarme a mantenerme firme para lograr mis objetivos.

YUL

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por acogernos y formarnos durante estos años, brindándonos no solo conocimientos técnicos, sino también valores y principios que marcarán nuestra vida profesional.

A nuestros docentes, por su entrega y compromiso en nuestra formación académica, y en especial a nuestra asesora de tesis; Susan Pillaca, por su guía, paciencia y valiosas orientaciones que hicieron posible la culminación de esta investigación.

A nuestros compañeros y amigos, por las horas compartidas, el apoyo mutuo y las experiencias que enriquecieron nuestro paso por la universidad.

De manera especial, a nuestras familias, por ser nuestra base y fortaleza. Por su apoyo incondicional, su comprensión en los momentos de ausencia y su confianza en nuestras capacidades.

Finalmente, a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, aportaron su tiempo, sus conocimientos y su motivación para que este trabajo se lleve a cabo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la acción curante de la mezcla de polvo de apio (*Apium graveolens*) y polvo de achiote (*Bixa orellana*) sobre carne de res, sin alterar sus características organolépticas ni de calidad. La creciente demanda de alimentos más saludables ha impulsado el uso de ingredientes naturales, como el apio y el achiote, como alternativas a los nitritos sintéticos. Se elaboraron ocho tratamientos con diferentes proporciones de apio y achiote mediante un diseño de mezclas en Design-Expert 13, estableciendo como límites 5–25 % de achiote y 75–95 % de apio. Además, se preparó un tratamiento control (TC) con sal curante (2.5 g/kg de nitrito), de acuerdo con las recomendaciones de la USDA. Como recubrimiento, se aplicó una mezcla constante de especias (ajo, culantro, paprika, ají panca, pimienta y comino). Todos los tratamientos fueron sometidos a análisis fisicoquímicos (pH, humedad, CRA) y colorimetría instrumental (L^* , a^* , b^*) cada tres días durante 20 días, y análisis microbiológico de *Clostridium perfringens* en los días 1, 10 y, para el día 20, se realizaron al TC y al T8 todos los análisis microbiológicos contemplados por la norma, incluido el microorganismo *Clostridium botulinum*. Para el análisis estadístico y la optimización, se utilizaron únicamente los datos del día 1, dado que las variables evolucionaron de forma similar a lo largo del tiempo. Los análisis microbiológicos no se incluyeron en la optimización debido a que todos fueron óptimos. La optimización estadística identificó como mezcla óptima (TF) la formulación con 24.57 % de achiote y 75.43 % de apio. Esta se replicó experimentalmente y se comparó con el tratamiento control mediante pruebas ANOVA, Mann-Whitney y Wilcoxon. El ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) en pH, CRA y humedad, aunque no fueron confirmadas por Mann-Whitney, quedando como no significativas. En cambio, ambos métodos coincidieron en diferencias significativas en los parámetros de color. En la evaluación sensorial realizada por 35 panelistas utilizando una escala hedónica de 7 puntos, TF obtuvo mayor aceptación en apariencia y textura, sin diferencias significativas en aroma ni sabor. Ambas muestras cumplieron con los límites microbiológicos establecidos para *Aerobios mesófilos*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.* y *Clostridium botulinum*. Los resultados evidencian que la formulación optimizada con apio y achiote posee propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales adecuadas, constituyéndose en una alternativa natural viable al uso de nitritos sintéticos en el curado de carne de res.

Palabras clave: Curado natural, carne de res, apio, achiote, diseño de mezclas, análisis sensorial, nitritos naturales, sal curante, Design-Expert

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the curing effect of a mixture of celery powder (*Apium graveolens*) and annatto powder (*Bixa orellana*) on beef, without altering its organoleptic or quality characteristics. The growing demand for healthier food has encouraged the use of natural ingredients, such as celery and annatto, as alternatives to synthetic nitrites. Eight treatments with different proportions of celery and annatto were developed using a mixture design in Design-Expert 13, setting limits of 5–25% annatto and 75–95% celery. In addition, a control treatment (TC) was prepared using curing salt (2.5 g/kg of nitrite), according to USDA recommendations. A constant spice mixture (garlic, coriander, paprika, *ají panca*, pepper, and cumin) was applied as an external coating. All treatments were subjected to physicochemical analyses (pH, moisture, WHC) and instrumental colorimetry (L^* , a^* , b^*) every three days for 20 days. Microbiological analysis for *Clostridium perfringens* was carried out on days 1 and 10, and on day 20, all microbiological tests required by the standard—including *Clostridium botulinum*—were performed on TC and T8. For statistical analysis and optimization, only data from day 1 were used, since the variables showed similar trends over time. Microbiological results were not included in the optimization since they were all optimal. Statistical optimization identified the optimal formulation (TF) as 24.57% annatto and 75.43% celery. This formulation was experimentally replicated and compared to the control treatment using ANOVA, Mann-Whitney, and Wilcoxon tests. ANOVA indicated significant differences ($p < 0.05$) in pH, WHC, and moisture, although these were not confirmed by the Mann-Whitney test and were therefore considered not significant. However, both methods agreed on significant differences in color parameters. In the sensory evaluation carried out by 35 panelists using a 7-point hedonic scale, TF received higher acceptance in appearance and texture, with no significant differences in aroma or flavor. Both samples complied with microbiological limits established for mesophilic aerobes, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, and *Clostridium botulinum*. The results demonstrate that the optimized formulation with celery and annatto has suitable physicochemical, microbiological, and sensory properties, making it a viable natural alternative to synthetic nitrites for curing beef.

Keywords: Natural curing, beef, celery, annatto, mixture design, sensory analysis, natural nitrites, curing salt, Design-Expert

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
1.1. Antecedentes	24
1.1.1. <i>Internacional</i>	24
1.1.2. <i>Nacional</i>	26
1.2. La carne de res como materia prima	27
1.2.1. Definición.....	27
1.2.1.1. Clasificación.....	28
1.2.2. <i>Composición fisicoquímica de la carne</i>	29
1.2.3. <i>Factores que afectan la calidad de la carne</i>	30
1.3. Curado	31
1.3.1. <i>Carnes curadas</i>	31
1.3.1.1. Métodos de curado.	32
1.3.1.1.1. <i>Curado en seco.</i>	32
1.3.1.2. Ingredientes tradicionales en el curado.	32
1.3.1.3.1. <i>Efectos del curado sobre las características sensoriales</i>	33
1.3.1.3.2. <i>Efectos del curado sobre las características microbiológicas</i>	34
1.4. Uso de nitritos y nitratos en la industria cárnica	34
1.4.1. <i>Funciones tecnológicas (color, sabor, conservación)</i>	34
1.4.2. <i>Riesgos y regulaciones (límite máximo permitido)</i>	35
1.4.3. <i>Tendencias actuales hacia alternativas naturales</i>	35
1.5. Alternativas naturales a los nitritos y nitratos	36
1.5.1. <i>Concepto de “curado natural”</i>	36
1.5.2. <i>Extractos vegetales con actividad nitrada o antioxidante</i>	36
1.5.3. <i>Eficacia comparada con aditivos sintéticos</i>	37
1.6. El polvo de apio (<i>Apium graveolens</i>) como fuente de nitratos	37
1.6.1. <i>Composición química y contenido natural de nitratos</i>	37
1.6.1.1. Mecanismo de conversión bacteriana a nitrito.	38
1.7. El achiote (<i>Bixa orellana</i>) como antimicrobiano.....	39
1.7.1. <i>Composición (bixina, norbixina, compuestos fenólicos)</i>	39
1.7.2. <i>Uso tradicional y funcionalidad tecnológica</i>	39
1.8. Requisitos microbiológicos en carnes curadas.....	40
1.8.1. <i>Clostridium botulinum</i>	40
1.8.2. <i>Escherichia coli</i>	41
1.8.3. <i>Aerobios mesófilos</i>	41
1.8.4. <i>Staphylococcus aureus</i>	41
1.8.5. <i>Salmonella spp</i>	41
1.9. Análisis sensorial	42

1.9.1. Color	42
1.9.1.2. Valores de referencia del sistema CIELAB en carne curada.....	43
1.9.2. Aroma	44
1.9.3. Sabor	44
1.9.4. Textura	44
1.10. Requisitos fisicoquímicos	44
1.10.1. Humedad	44
1.10.2. Actividad de agua (aw)	44
1.10.3. Capacidad de retención de agua (CRA)	46
1.10.4. Materia prima e ingredientes para la elaboración de carne curada	47
1.10.4.1. Carne de res (lomo fino).....	47
1.10.4.2. Sal gruesa de maras.....	48
1.10.4.3. Ajo.....	48
1.10.4.4. Pimienta.....	48
1.10.4.5. Comino.....	48
1.10.4.6. Ají panca en polvo.....	49
1.10.4.7. Páprika.....	49
1.10.4.8. Semillas de culantro.....	49
1.11. Determinación del tiempo de cocción de la carne curada	49
1.12. Evaluación sensorial	50
1.12.1. Pruebas hedónicas	50
1.13. Diseño de mezclas.....	50
1.14. Prueba de Wilcoxon	50
CAPÍTULO II.....	51
MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
2.1. Lugar de ejecución	51
2.2. Tipo de investigación	51
2.3. Nivel de investigación.....	51
2.4. Población y muestra	51
2.4.1. Población	51
2.4.2. Muestra	51
2.5. Materias primas e insumos	51
2.5.1. Materia prima	51
2.5.1.1. Acondicionamiento de la materia prima.....	51
2.5.2. Insumos	51
2.6. Materiales y equipos	52
2.6.1. Materiales de laboratorio	52
2.6.2. Equipos	52
2.6.3. Software	53

2.7.	Metodología.....	53
2.7.1.	<i>Tratamientos experimentales.....</i>	53
2.7.2.	<i>Formulación y elaboración de la carne cruda curada de res</i>	53
2.7.2.1.	Primera etapa.....	54
2.7.2.2.	Segunda etapa.....	56
2.7.2.3.	Tercera etapa.....	57
2.7.3.	<i>Variables analizadas</i>	59
2.7.3.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	59
2.7.3.1.1.	<i>Determinación de pH.....</i>	59
2.7.3.1.2.	<i>Determinación de la humedad.....</i>	60
2.7.3.1.3.	Determinación de la Capacidad de retención de agua.....	60
2.7.3.2.	Parámetros microbiológicos.....	61
2.7.3.3.	Determinación de color CIELAB.....	62
2.7.3.4.	Determinación de la aceptabilidad.....	62
2.7.4.	<i>Determinación del contenido de nitratos y nitritos en el polvo de apio.....</i>	63
2.7.4.1.	Nitratos presentes.....	63
2.7.4.2.	Tratamientos.....	63
Tabla 12	<i>Tratamientos</i>	64
2.7.5.	<i>Evaluación estadística de los resultados</i>	65
CAPITULO III.....		68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		68
3.1.	Obtención de la carne curada.....	68
3.2.	Evaluación con Design Expert 13.....	68
3.2.	Aspectos fisicoquímicos de la carne curada.....	68
•	<i>Comportamiento del pH.....</i>	68
•	<i>Humedad</i>	72
3.3.	Determinación de color.....	79
•	Colorimetría.....	79
•	Luminosidad (L*).....	81
•	Rojo – verde (a*).....	84
•	Amarillo - azul (b*).....	86
3.4.	Análisis microbiológicos.....	89
3.5.	Optimización de la mezcla.....	90
•	<i>Resultados de la optimización.....</i>	91
•	<i>Validación experimental de la formulación optimizada</i>	91
3.6.	Comparación estadística entre la muestra optimizada (TF) y el tratamiento control (TC).....	92
•	<i>Parámetros fisicoquímicos.....</i>	93
•	<i>Evaluación colorimétrica CIELAB</i>	96

• ANOVA y Mann -Whitney de L*, a* y b*	96
• <i>Análisis microbiológico</i>	98
• <i>Análisis sensorial</i>	100
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características adecuadas esperadas de la carne fresca de res	28
Tabla 2 Composición fisicoquímica de la carne.....	29
Tabla 3 Efectos del curado sobre las características sensoriales de la carne de res	33
Tabla 4 Efectos del curado sobre las características microbiológicas y fisicoquímicas de la carne de res	34
Tabla 5 Criterios microbiológicos para piezas cárnicas crudas curadas.....	42
Tabla 6 Valores de referencia del sistema CIELAB en productos cárnicos curados	43
Tabla 7 Actividad de agua mínima de crecimiento de microorganismos asociados con carnes y productos cárnicos.....	45
Tabla 8 Ficha Técnica - Carnes Curadas de Res	46
Tabla 9 Formulaciones para la elaboración de carne curada por tratamiento	53
Tabla 10 Variables a medir.....	59
Tabla 11 Evaluación sensorial mediante la escala hedónica	63
Tabla 12 <i>Tratamientos</i>	64
Tabla 13 Resultados de la medición del pH cada tres días, durante 20 días	68
Tabla 14 ANOVA pH para modelo cúbico	70
Tabla 15 Resultados humedad (%)	72
Tabla 16 ANOVA humedad para modelo cuadrático.....	73
A: Achiote, B: Apio Tabla 17 Comparación general de modelos	74
Tabla 18 Resultados Capacidad de retención de agua (CRA) (g H ₂ O retenida/100 g H ₂ O).....	75
Tabla 19 Análisis de Varianza CRA.....	76
Tabla 20 Análisis de varianza L*	82
Tabla 21 Análisis de varianza a*	85
Tabla 22 Análisis de varianza b*	87

Tabla 23	Resultados de análisis microbiológicos día 20	90
Tabla 24	ANOVA y Mann-Whitney de pH, CRA y Humedad.....	93
Tabla 25	ANOVA y Mann – Whitney de L*, a * y b*	96
Tabla 26	Resultados microbiológicos de TC (tratamiento control) y TF (mezcla optimizada)	99
Tabla 27	Resultados microbiológicos de TC (tratamiento control) y TF (mezcla optimizada) para Clostridium botulinum.....	100
Tabla 28	Resultados de la prueba sensorial	100
Tabla 29	ANOVA Wilcoxon para análisis sensorial.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Filete de carne de res fresca	28
Figura 2	Formación de la nitrosomioglobina	35
Figura 3	Apio.....	37
Figura 4	Semillas de achiote.....	39
Figura 5	Escala de color Cielab.....	43
Figura 6	Diagrama de flujo para la obtención de apio en polvo	55
Figura 7	Diagrama de flujo para la obtención de achiote en polvo.....	56
Figura 8	Diagrama de flujo para carne cruda curada	58
Figura 9	Tratamiento Control (TC), T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 empacutados al vacío.....	68
Figura 10	Evolución del pH promedio en el tiempo	69
Figura 11	Superficie de respuesta pH – día 1	71
Figura 12	Diagrama de Pareto – Efectos sobre el pH	71
Figura 13	Evolución de la humedad promedio en el tiempo.....	72
Figura 14	Variación CRA durante el almacenamiento.....	75
Figura 15	Superficie de respuesta – CRA día 1	77
Figura 16	Diagrama de Pareto – Efectos sobre CRA	78
Figura 17	Resultados promedio de colorimetría para todos los tratamientos.	80
Figura 18	Evolución de la luminosidad (L*) en el centro de las muestras.....	81
Figura 19	Evolución de la Luminosidad en el contorno (L*) de las muestras	81
Figura 20	Evolución del valor a* (rojo) en el centro de las muestras	84
Figura 21	Evolución del valor de a* (rojo) en el contorno de las muestras	85

Figura 22 Evolución del color b* (amarillo) en el centro de las muestras	86
Figura 23 Evolución del color b* (amarillo) en el contorno de las muestras.....	87
Figura 24 Comparación entre los valores predichos y observados para los parámetros físicoquímicos y colorimétricos de la formulación optimizada (24.57 % achiote y 75.43 % apio).....	92
Figura 25 <i>Comparación de puntaje de la evaluación sensorial</i>	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Proceso de obtención de la carne curada con polvo de achiote y polvo de apio	124
Anexo 2 <i>Loncheado de la carne curada / empacado en presentación trozos</i>	125
Anexo 3 <i>Muestras de carne curada (T1-T8) y TC – día 1</i>	125
Anexo 4 <i>Proceso de secado en la estufa para la determinación de humedad</i>	125
Anexo 5 <i>Preparación de las muestras para la prueba de Capacidad de retención de agua (CRA), pesado de papel filtro y muestra para la determinación</i>	126
Anexo 6 <i>Preparación de las muestras y medición de pH</i>	126
Anexo 7 <i>Proceso de fermentación y deshidratado del apio</i>	127
Anexo 8 <i>Uso del Colorímetro de CieLab</i>	127
Anexo 9 <i>Muestras de carne curada con la mezcla optimizada (TF)</i>	127
Anexo 10 <i>Muestras de carne curada con sal curante (TC)</i>	128
Anexo 11 <i>Prueba sensorial</i>	128
Anexo 12 <i>Cocción de las muestras para el análisis sensorial</i>	128
Anexo 13 <i>Ficha de evaluación sensorial de carne curada con polvo de achiote y polvo de apio</i>	129
Anexo 14 <i>Almacenamiento de la carne curada con lectura de termohigrómetro</i>	129
Anexo 15 <i>Informes de ensayo microbiológico</i>	130
Anexo 16 <i>Prueba de nitratos (positivo) y nitritos (negativo) antes de la fermentación</i>	138
Anexo 17 <i>Prueba de nitratos y nitritos después de la fermentación</i>	138
Anexo 18 <i>Cantidad de nitritos determinado en el jugo de apio fermentado con tiras reactivas (mg/L o ppm)</i>	139
Anexo 19 <i>Datos para determinar CRA</i>	139
Anexo 20 <i>Consolidado de las respuestas de los jueces para Apariencia, Aroma, Sabor y Textura</i>	140

INTRODUCCIÓN

La conservación de productos cárnicos ha sido históricamente una práctica esencial para garantizar la inocuidad alimentaria y prolongar la vida útil de los alimentos. Dentro de estos métodos, el curado ocupa un lugar destacado, ya que tradicionalmente emplea nitritos y nitratos como agentes curantes debido a su capacidad para inhibir el crecimiento microbiano, estabilizar el color y desarrollar el sabor característico de los productos cárnicos procesados (Honikel, 2008). No obstante, el uso prolongado y en exceso de estos compuestos ha generado preocupación en la comunidad científica, debido a su posible relación con la formación de nitrosaminas, sustancias potencialmente cancerígenas (Cassens, 1997; Sebranek & Bacus, 2007).

Frente a esta problemática, se ha intensificado la búsqueda de alternativas naturales que permitan reemplazar total o parcialmente los curantes sintéticos sin comprometer la calidad ni la seguridad de los productos. En este contexto, el apio (*Apium graveolens*) ha sido ampliamente investigado como una fuente natural de nitratos, los cuales pueden transformarse en nitritos mediante procesos fermentativos controlados, cumpliendo así una función curante similar a la de los aditivos convencionales (Sindelar et al., 2007).

Por otro lado, el achiote (*Bixa orellana*), planta de origen amazónico ampliamente utilizada en la gastronomía peruana, presenta múltiples propiedades funcionales. Además de su capacidad para aportar color gracias a compuestos como la bixina y la norbixina, también posee actividad antioxidante y antimicrobiana frente a bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, lo que refuerza su potencial como agente conservante natural (Rivera-Madrid et al., 2016; Monzote et al., 2012). Estas características permiten considerar al achiote no solo como un aditivo sensorial, sino también como un componente con efecto protector en productos cárnicos elaborados sin nitritos sintéticos.

En este sentido, la combinación de polvo de apio y polvo de achiote representa una alternativa innovadora y más saludable para el curado de carne, especialmente en sistemas de producción artesanal. Esta estrategia permitiría aprovechar de manera sinérgica los nitratos naturales del apio y las propiedades antioxidantes y antimicrobianas del achiote, contribuyendo a mejorar la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial del producto final.

Bajo este enfoque, se desarrollaron ocho tratamientos experimentales empleando distintas proporciones de polvo de apio y polvo de achiote, utilizando un diseño de mezclas asistido por el software Design-Expert 13. Se establecieron rangos de formulación entre 5–25 % de achiote y 75–95 % de apio, lo que permitió evaluar de manera sistemática el efecto de cada componente y sus interacciones sobre las características del producto. Adicionalmente, se incluyó un tratamiento control (TC) elaborado con sal curante (2.5 g/kg de nitrito), siguiendo las recomendaciones de la USDA para productos cárnicos curados. Todas las muestras fueron recubiertas con una mezcla constante de especias —ajo, culantro, paprika, ají panca, pimienta y comino— con el fin de mantener condiciones homogéneas en el perfil sensorial.

Los tratamientos fueron sometidos a evaluaciones fisicoquímicas periódicas, incluyendo pH, contenido de humedad y capacidad de retención de agua (CRA), así como análisis de color mediante colorimetría instrumental (L^* , a^* , b^*) cada tres días durante un periodo de 20 días. Paralelamente, se realizaron análisis microbiológicos de *Clostridium perfringens* en los días 1 y 10, y en el día 20 se llevaron a cabo análisis microbiológicos completos en el tratamiento control y en el tratamiento T8, incluyendo la detección de *Clostridium botulinum*, de acuerdo con la normativa vigente.

Para el análisis estadístico y la optimización, se consideraron únicamente los datos del día 1, dado que las variables presentaron comportamientos similares a lo largo del tiempo. Los análisis microbiológicos no se incluyeron en la optimización, ya que todos los tratamientos mostraron resultados dentro de los rangos aceptables. La optimización estadística permitió identificar como mezcla óptima (TF) la formulación compuesta por 24.57 % de achiote y 75.43 % de apio. Esta formulación fue validada mediante su replicación experimental y comparada con el tratamiento control utilizando pruebas estadísticas como ANOVA, Mann-Whitney y Wilcoxon.

Los resultados del ANOVA indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en pH, CRA y humedad; sin embargo, estas no fueron confirmadas por la prueba de Mann-Whitney, por lo que se consideraron finalmente no significativas. En contraste, ambos métodos coincidieron en la existencia de diferencias significativas en los parámetros de color, evidenciando el efecto de los ingredientes naturales sobre las características cromáticas del producto.

En la evaluación sensorial, realizada con 35 panelistas mediante una escala hedónica de 7 puntos, la formulación óptima (TF) obtuvo mayor aceptación en atributos como apariencia y textura, sin presentar diferencias significativas en aroma y sabor respecto al tratamiento control. Asimismo, ambas muestras cumplieron con los límites microbiológicos establecidos para *Aerobios mesófilos*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.* y *Clostridium botulinum*.

En conjunto, estos resultados demuestran que la formulación optimizada a base de apio y achiote posee propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales adecuadas, consolidándose como una alternativa natural, segura y viable frente al uso de nitritos sintéticos en el curado de carne de res.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la eficacia de una mezcla de polvo de achiote y polvo de apio como agente curante natural en la carne de res, con la finalidad de sustituir el uso de nitritos sintéticos sin comprometer la calidad, inocuidad ni las características sensoriales del producto final.

Como objetivos específicos se plantea evaluar los parámetros fisicoquímicos de la carne tratada con la mezcla, tales como humedad, pH y capacidad de retención de agua (CRA); asimismo, analizar el efecto antimicrobiano de dicha mezcla frente a *Clostridium perfringens*. De igual manera, se busca evaluar su influencia sobre el color de la carne de res, así como determinar la presencia o ausencia de *Clostridium botulinum* y el comportamiento frente a otros microorganismos patógenos establecidos por la normativa en el tratamiento óptimo. Finalmente, se evaluaron las características sensoriales del producto, incluyendo aroma, sabor, textura y apariencia en el mejor tratamiento obtenido.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacional

Estudio: Effects of vegetable juice powder concentration and incubation time on some physical characteristics of uncured, cooked ham.

País: Estados Unidos

Autores: Sindelar, J. *et al.* (2007)

Resumen:

En este estudio se analizó la capacidad de los jugos de vegetales en polvo (principalmente apio) para sustituir el uso de nitratos sintéticos en la carne curada. El primer objetivo del estudio fue determinar los efectos de la variación de las concentraciones de jugo de vegetales en polvo y los tiempos de incubación. en las características de calidad, incluyendo la oxidación lipídica, el color y la concentración de pigmentos de la carne curada, de salchichas cocidas al estilo Frankfurt emulsionadas durante un período de almacenamiento de 90 días. El segundo objetivo fue comparar el contenido residual de nitratos y nitritos resultante de diferentes tratamientos de procesamiento y el tercer objetivo fue evaluar las propiedades sensoriales de los productos terminados.

Se evaluó el color característico de la carne curada, el pH y la presencia de microorganismos. Los resultados indicaron que, llevando a cabo una correcta incubación, el polvo de apio replica las propiedades de los nitratos que se buscan en el curado.

Relevancia:

Ofrece pruebas técnicas de cómo se pueden emplear eficientemente vegetales ricos en nitrato en productos cárnicos.

Estudio: Natural and Organic Cured Meats: Regulatory, Manufacturing, Marketing, Quality and Safety Issues.

País: Estados Unidos

Autores: Sebranek, J.G., Bacus, J.N. (2007).

Resumen:

En este estudio se analizó el uso del polvo de apio como una fuente natural de nitratos, los que se convierten en nitritos haciendo uso de cultivos iniciadores. Como resultado,

se observó que los productos que fueron curados, como salchichas y tocino, tratados con polvo de apio fermentado, presentaron color, sabor, y vida útil en anaquel similares a productos cárnicos curados de forma artificial.

Importancia:

Valida el uso del polvo de apio como curante natural, compatible con los estándares de productos “naturales” o “orgánicos”.

Estudio: Antibacterial activity and mode of action of selected phytochemicals against foodborne pathogens.

País: Portugal

Autores: Borges, A., Ferreira, C., Saavedra, M. J., & Simões, M. (2013).

Resumen:

En este estudio se incluyó el uso del polvo de achiote (*Bixa orellana*) por sus propiedades antimicrobianas aplicables a productos cárnicos. Se resaltó su capacidad antimicrobiana y antioxidante, aspectos cruciales para la conservación de las carnes curadas.

Importancia:

Establece que el achiote no solo aporta color, sino que también ayuda en la preservación del producto mediante su actividad antioxidante.

Estudio: Natural curing of meat products: Current research and future challenges.

País: Corea del Sur y EE.UU.

Autores: Ahn, D.U., & Scoular, F. (2012).

Resumen:

Este artículo revisa distintas alternativas al curado convencional, destacando el uso de extractos vegetales como apio, remolacha, y achiote. Se enfatiza la necesidad de un equilibrio entre seguridad microbiológica, apariencia, y sabor en productos curados naturalmente.

Importancia:

Reafirma la tendencia internacional hacia curado limpio ("clean label"), donde el uso de ingredientes como apio y achiote representa una respuesta a la demanda del consumidor.

Estudio: Efectividad de la sustitución parcial y total de nitritos por apio en polvo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de la salchicha tipo Frankfurt 2019

Autor: Kevin David Alemán Aguirre

País: Universidad de Pamplona (Colombia)

Resumen

Alemán Aguirre (2019) evaluó la efectividad del apio en polvo (*Arracacia xanthorrhiza*) como sustituto parcial y total del nitrito sintético en la elaboración de salchichas tipo Frankfurt. Se diseñaron cuatro tratamientos: D1 (100 % sal nital), D2 (50 % sal nital y 50 % apio), D3 (25 % sal nital y 75 % apio), y D4 (100 % apio), con el fin de comparar sus efectos sobre la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial del producto. Los resultados demostraron que los tratamientos con apio, en especial D2 y D3, mantuvieron parámetros microbiológicos seguros y una aceptación sensorial favorable, mientras que D4, aunque eficaz en la conservación del producto, presentó menor intensidad de color. Este estudio respalda el uso del apio en polvo como alternativa natural al nitrito sintético en el curado de productos cárnicos, en concordancia con la tendencia actual hacia alimentos más naturales y seguros para el consumidor.

1.1.2. Nacional

Estudio:

“Uso de apio (*Apium graveolens*) como fuente de nitratos naturales en la elaboración de jamón de cerdo curado”

Autor: Ramos Sánchez, Pamela

Universidad: Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), 2021

Resumen:

La investigación evaluó el uso de polvo de apio como sustituto parcial del nitrito de sodio en jamón de cerdo curado. Se midieron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. Los resultados demostraron que el apio puede generar un color rosado aceptable y mantener la seguridad microbiológica, especialmente cuando se combina con cultivos iniciadores.

Importancia:

Demuestra la viabilidad del apio como agente curante natural en productos cárnicos en condiciones locales.

Estudio:

“Uso de extractos naturales como sustituto del nitrito en chorizos artesanales”

Autor: Yupanqui Tello, K.

Universidad: Universidad Nacional del Altiplano – Puno, 2019

Resumen:

Se evaluaron diferentes extractos vegetales (batarraga, espinaca, apio) como sustitutos del nitrito en chorizos. Se obtuvieron productos estables microbiológicamente con buena aceptabilidad sensorial. El uso combinado de vegetales fue más efectivo que uno solo.

Importancia:

Respalda la idea de combinar ingredientes naturales, para mejorar efecto curante y sensorial.

Estudio:

“Evaluación de extractos naturales en la vida útil de carne de res almacenada en refrigeración”

Autor: Palacios Quispe, C.

Universidad: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), 2018

Resumen:

Se evaluaron varios extractos naturales (entre ellos achiote) en carne de res. Se observó que el achiote tiene efectos antimicrobianos y antioxidantes que ayudan a conservar la carne por más tiempo bajo refrigeración.

Importancia:

Confirma que el achiote puede ser usado no solo como colorante, sino también como conservante natural.

1.2. La carne de res como materia prima

1.2.1. Definición

Según el Codex Alimentarius, la carne es el "tejido muscular esquelético de animales de abasto, que puede contener grasa y otros tejidos conectivos, y debe ser apta para el consumo humano" (Codex Stan 192-1995), es una fuente rica en proteínas de alto valor biológico, hierro hemo, zinc y vitaminas del complejo B, especialmente vitamina B12. Las características físicas de un filete fresco de carne de res, según normas técnicas y criterios de calidad establecidos por organismos como el Codex Alimentarius, el USDA, y normativas nacionales (como la NTC Colombiana o NOM mexicana), incluyen los siguientes aspectos:

Tabla 1

Características adecuadas esperadas de la carne fresca de res

Parámetro	Descripción
Color	Rojo brillante a rojo cereza, según el tipo de músculo y exposición al oxígeno (oximioglobina). No debe presentar decoloraciones verdosas, pardas o grises (Figura 1)
Olor	Olor característico a carne fresca, sin aromas ácidos, putrefactos o rancios.
Textura	Firme y ligeramente elástica al tacto. No debe sentirse viscosa ni pegajosa.
Superficie Grasa	Húmeda pero no excesivamente mojada. No debe tener mucosidad. De color blanco a crema claro, distribuida de forma regular (marmoleo visible si aplica).
Ausencia de defectos	Sin presencia de coágulos de sangre, hematomas, abscesos, huesos rotos, cuerpos extraños o materia fecal.
pH (valor orientativo)	Entre 5.4 y 5.8 dentro de las primeras 24 horas post mortem, en condiciones normales.

Nota: Adaptado de NTP 209.027:1977 – *Carne de ganado vacuno. Definiciones y clasificación según su calidad* (Perú)

Figura 1

Filete de carne de res fresca



1.2.1.1. Clasificación.

La carne de res puede clasificarse según diferentes criterios, lo cual permite estandarizar su calidad y uso en la industria alimentaria.

Según normas técnicas como la Norma Técnica Peruana (NTP 209.027:1983) y el Codex Alimentarius, las clasificaciones comunes incluyen:

- a) *Por tipo de animal y edad.*
 - Ternera: animal menor de 12 meses

- Novillo: macho joven, entre 1 y 2 años
- Vaca o toro adulto: mayor rendimiento en cortes para procesamiento

b) Por tipo de corte

La carne de res se divide en cortes primarios, secundarios y terciarios; el lomo fino o filete es un corte perteneciente al grupo de cortes magros de alta calidad, caracterizado por su textura tierna, bajo contenido de grasa y alta aceptabilidad sensorial.

c) Por calidad comercial (clasificación visual)

Según parámetros establecidos como el color, la firmeza, la jugosidad, la infiltración grasa (marmoleo) y el pH post mortem, la carne puede clasificarse en categorías como: A, para carne joven, suave, color rojo brillante, óptimo marmoleo, B y C: carne más firme, de animales de mayor edad

1.2.2. Composición fisicoquímica de la carne

La carne de res es un tejido complejo compuesto por músculo esquelético, grasa intramuscular, agua y pequeñas cantidades de carbohidratos, minerales y vitaminas, por lo que su composición química determina en gran medida su calidad tecnológica, valor nutricional y comportamiento durante el curado. En la Tabla 2, se detalla la composición promedio de la carne de res fresca, especialmente del corte lomo:

Tabla 2

Composición fisicoquímica de la carne

Componente	Rango (%)	Descripción
Agua	72 – 75 %	Principal componente; influye en jugosidad, textura y actividad de agua (Aw).
Proteína	18 – 22 %	Fuente de aminoácidos esenciales; afecta textura y capacidad de retención de agua.
Grasa	2 – 6 %	Variable según el corte; aporta sabor, jugosidad y calorías.
Minerales	0.7 – 1.2 %	Principalmente hierro, zinc, fósforo, potasio y sodio.
Carbohidratos	<1 % (como glucógeno)	Participan en el descenso de pH post mortem y reacciones de curado.
pH inicial	5.4 – 5.8	Influye en estabilidad microbiológica y color.
CRA	Variable	Capacidad de retención de agua: clave para textura y rendimiento tecnológico.

Nota: Adaptado de Lawrie & Ledward (2006), Toldrá (2006) y USDA (2021)

1.2.3. Factores que afectan la calidad de la carne

La selección de una carne fresca de alta calidad es fundamental para la elaboración de productos cárnicos procesados, como embutidos, curados o fermentados, debido a que la calidad inicial de la carne influye directamente en la estabilidad del producto, su rendimiento tecnológico, aceptación sensorial y vida útil.

Para que una carne fresca sea considerada óptima como materia prima, debe cumplir con características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales específicas, entre las cuales destacan:

1.2.3.1. Color adecuado.

El color es uno de los primeros indicadores de frescura, ya que una carne óptima presenta un color rojo brillante o rojo cereza, asociado a una alta oxigenación de la mioglobina. Los tonos oscuros, pálidos o marrones pueden reflejar oxidación, pH inadecuado o manejo deficiente. (Mancini & Hunt, 2005; Faustman *et al.*, 2010).

1.2.3.2. Rango de pH.

El pH ideal de la carne fresca post mortem se encuentra entre 5.4 y 5.8, ya que este valor favorece la estabilidad microbiológica, la capacidad de retención de agua (CRA) y el desarrollo de color en procesos de curado. Un pH elevado puede indicar carne DFD (Oscura, firme y seca), mientras que un pH muy bajo puede estar asociado a carne PSE (Pálida, blanda y exudativa), ambas indeseables. (Lawrie & Ledward, 2006; Toldrá, 2010).

1.2.3.3. Buena capacidad de retención de agua (CRA).

La capacidad de retención de agua (CRA) de la carne se define como la habilidad del músculo post-mortem para retener agua incluso cuando se le aplican presiones externas, como la gravedad o el calor (Pork Information Gateway, 2007). Una CRA elevada permite que la carne conserve su jugosidad, reduzca pérdidas durante el curado y mejore la textura final del producto. Esta propiedad está influida por el pH, la integridad estructural de las proteínas y el grado de estrés del animal antes del sacrificio. (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005; Lawrie & Ledward, 2006; Toldrá, 2010).

1.2.3.4. Ausencia de contaminantes microbiológicos.

Una carne fresca óptima debe tener una baja carga microbiana, libre de patógenos como *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* o

Clostridium spp. (Ministerio de Salud del Perú, 2008; FAO & OMS, 2007).

1.2.3.5. Textura firme y elástica.

Al tacto, la carne debe sentirse firme, no viscosa, y recuperar su forma tras ser presionada, esto indica integridad muscular y frescura. (Lawrie & Ledward, 2006; Toldrá, 2010).

1.2.3.6. Olor neutro o ligeramente ferroso.

El olor debe ser característico de carne fresca, sin presencia de aromas ácidos, rancios o putrefactos, por lo que olores anómalos sugieren deterioro microbiológico o reacciones oxidativas. (Lawrie & Ledward, 2006; Toldrá, 2010).

1.3. Curado

El curado de la carne se define como un proceso de conservación que consiste en la adición de sustancias curantes como la sal, nitratos o nitritos, con el objetivo de prolongar la vida útil del producto, inhibir el desarrollo microbiano y aportar características sensoriales deseables como el color, el aroma y el sabor. Estos compuestos penetran en el tejido muscular y generan un entorno hostil para el crecimiento de microorganismos, además de favorecer la formación de pigmentos estables y sabores característicos (Toldrá, 2006).

1.3.1. Carnes curadas

Los productos cárnicos madurados son ampliamente consumidos en Europa, se trata de productos que no llevan un tratamiento térmico y en su mayoría están listos para su consumo, como también están los que requieren cocción al momento de su consumo para eliminar cualquier riesgo potencial. En su elaboración llevan un proceso de curado-maduración, pueden ser fermentados o no, a veces son ahumados, se pueden embutir en tripas naturales o sintéticas. Estos productos pueden ser piezas enteras, como el jamón serrano, o picados, como el chorizo y la longaniza. La vida de anaquel de estos productos depende del tiempo de maduración al que fueron sometidos.

Los productos que son untables o loncheables, tienen un tiempo de maduración corto (3 a 5 días) o largo (12 a 14 semanas). Las características principales de estos productos cárnicos son un pH bajo (5.3-5.8) y una baja actividad de agua (<0.85) para garantizar una estable vida de anaquel. (Viuda - Martos, 2023)

Cervera, (2014) menciona que, la curación es un método de conservación de la carne muy antiguo que se basa en la adición de una combinación de sal, azúcar y nitratos o nitritos para asegurar su mantenimiento y consumo a lo largo del tiempo.

A partir de la carne fresca y mediante el contacto de dicha carne con la solución de curado, tienen lugar una serie de cambios que permiten la conservación de la carne por tiempo prolongado. De esta manera, el propósito de la curación es el de prevenir o retrasar el proceso natural de descomposición de los alimentos, ya que la carne cruda es sensible a la descomposición microbiológica, pero también el de conseguir unas características específicas en dichas carnes.

1.3.1.1. Métodos de curado.

Existen varios métodos de curado, los cuales se clasifican en función de la forma de aplicación de los agentes curantes.

1.3.1.1.1. Curado en seco.

El curado seco consiste en aplicar directamente sobre la superficie de la carne una mezcla de sal y otros ingredientes curantes. Este método permite una deshidratación progresiva del producto, contribuyendo a la inhibición del crecimiento microbiano y al desarrollo de una textura firme y un sabor intenso, por lo que es ampliamente utilizado en la elaboración de productos artesanales como jamones y embutidos secos (Toldrá, 2010).

1.3.1.1.2. Curado húmedo.

También conocido como curado por salmuera, este método implica sumergir la carne en una solución acuosa que contiene sal y compuestos curantes (como nitratos o nitritos), esto hace este procedimiento más rápido que el curado seco y permite una distribución más uniforme de los ingredientes en piezas de carne grandes. Es común en productos cocidos o semicocidos como el jamón cocido o el pastrami (Feiner, 2006).

1.3.1.1.3. Curado mixto.

Este método combina el curado seco y el húmedo, aplicando sal en seco sobre la superficie de la carne y posteriormente se sumerge en salmuera, o viceversa y se emplea para asegurar una mejor penetración de los agentes curantes en productos con mayor espesor o para obtener características organolépticas específicas (Toldrá & Reig, 2006).

1.3.1.2. Ingredientes tradicionales en el curado.

Los ingredientes utilizados en el curado cumplen funciones esenciales tanto en la conservación como en la mejora sensorial de la carne. A continuación, se describen los principales.

1.3.1.2.1. Sal

La sal (cloruro de sodio) es el componente básico del curado, ya que reduce la actividad de agua (aw), inhibe el crecimiento microbiano, y contribuye al sabor característico del producto curado. Su acción osmótica extrae agua de los tejidos y de los microorganismos, prolongando la vida útil del producto (Leistner, 2000).

1.3.1.2.2. Nitritos

Los nitritos (NaNO_2) se emplean por su capacidad de inhibir el crecimiento de *Clostridium botulinum* y otros patógenos, además de contribuir al color rojo característico de la carne curada al reaccionar con la mioglobina para formar nitrosomioglobina, actuando también como antioxidantes, estabilizando las grasas (Honikel, 2008). Sin embargo, su uso debe ser controlado debido a la posible formación de nitrosaminas en condiciones desfavorables.

1.3.1.2.3. Nitratos

Toldrá, 2010, menciona que los nitratos (NaNO_3) actúan como reservas de nitritos, ya que se reducen lentamente a estos por acción bacteriana, especialmente en productos de curación lenta como jamones secos. Su uso es más común en curados de larga duración, donde se necesita una liberación sostenida del efecto conservante.

1.3.1.3. Efectos del curado sobre las características sensoriales y microbiológicas de la carne

El curado mejora y modifica varias propiedades sensoriales y microbiológicas de la carne, estas se especifican en la Tabla 3 y la Tabla 4, respectivamente:

1.3.1.3.1. Efectos del curado sobre las características sensoriales

Tabla 3

Efectos del curado sobre las características sensoriales de la carne de res

Atributo	Efecto del Curado
Sensorial	
Color	Intensificación del color rojizo debido a la formación de nitrosopigmentos.
Aroma	Desarrollo de un aroma característico por reacciones químicas entre las proteínas, grasas y especias.
Sabor	Mejora del sabor por la interacción de sal, compuestos curantes y especias; puede aportar notas umami y saladas.
Textura	Aumento en la firmeza por pérdida de humedad y acción de la sal en las

proteínas musculares.

Nota: Adaptado de NTP 201.157:2004, Honikel (2008), Toldrá *et al.* (2010) y Feiner (2006)

1.3.1.3.2. Efectos del curado sobre las características microbiológicas

Tabla 4

Efectos del curado sobre las características microbiológicas y fisicoquímicas de la carne de res

Aspecto	Efecto del Curado
Microbiológico	
Reducción de patógenos	Inhibición de <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , entre otros, gracias a la acción de la sal y nitratos/nitritos o compuestos antimicrobianos naturales.
Actividad de agua (aw)	Disminución de aw, lo que limita el desarrollo de microorganismos alterantes.

Nota: Adaptado de Cassens (1997), Leisntner (2000), Jay (2005), Sebranek *et al.* (2012) y Mejía *et al* (2020)

1.4. Uso de nitritos y nitratos en la industria cárnica

Los nitritos y nitratos han sido utilizados por décadas en la industria cárnica como agentes curantes, debido a sus múltiples funciones tecnológicas, es por esto que su uso ha sido objeto de revisión debido a los posibles efectos negativos sobre la salud, lo que ha llevado al desarrollo de alternativas naturales y a la regulación estricta de su aplicación. (Cassens, 1997; Honikel, 2008; Sindelar & Milkowski, 2012).

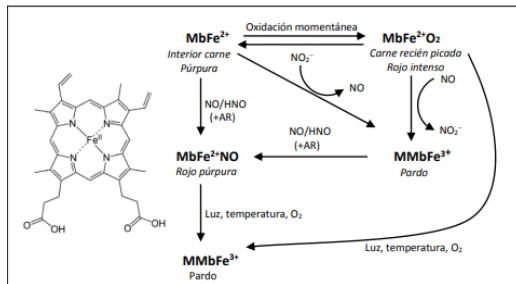
1.4.1. Funciones tecnológicas (color, sabor, conservación)

El empleo de nitritos y nitratos en productos cárnicos cumple funciones fundamentales en la calidad y seguridad del producto y una de sus principales funciones es la formación y estabilidad del color característico de las carnes curadas; los nitritos reaccionan con la mioglobina para formar nitrosomioglobina (Figura 2), un pigmento estable de color rosado rojizo, muy valorado en productos como jamón, tocino o salchichas (Honikel, 2008).

Estas reacciones químicas y enzimáticas tienen lugar cuando el nitrato que forma la solución de curación se pone en contacto con las bacterias de la familia *Micrococcaceae*, produciéndose una reacción bacteriana que da lugar a la formación de nitrito.

Figura 2

Formación de la nitrosomioglobina



Adaptado de: Skibsted (1992). Grupo hemo de la mioglobina (izquierda) y esquema de las reacciones del curado para la formación del color (derecha). MbFe²⁺, mioglobina nativa; MbFe²⁺O₂, oximioglobina; MMbFe³⁺, metamioglobina; MbFe²⁺NO, nitrosomioglobina; AR, agentes reductores.

Los nitritos tienen un rol clave en el perfil sensorial del producto, aportando un sabor típico a las carnes curadas (Toldrá, 2010). Desde el punto de vista microbiológico, actúan como agentes antimicrobianos, especialmente eficaces contra *Clostridium botulinum*, bacteria responsable del botulismo, así como frente a *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.* (Sebranek & Bacus, 2007).

Los nitratos, por su parte, se utilizan como reservas de nitritos en productos de curación prolongada, ya que se reducen lentamente a nitrito por acción de bacterias nitrato-reductoras (Toldrá & Reig, 2006).

1.4.2. Riesgos y regulaciones (límite máximo permitido)

El principal riesgo asociado al uso de nitritos es la formación de nitrosaminas, compuestos potencialmente cancerígenos que pueden generarse durante el calentamiento de productos cárnicos curados, en presencia de aminas secundarias (Cassens, 1997). Por esta razón, su uso está estrictamente regulado a nivel internacional.

Según la regulación 21 CFR 172.175 de la FDA (2017), el nitrito de sodio no debe exceder 200 ppm en carnes curadas. En la Unión Europea, el Reglamento (UE) N.º 1333/2008 fija límites de adición de 150 mg/kg de nitrito y 250 mg/kg de nitrato en la mayoría de carnes curadas (European Parliament & Council, 2008).

El CXS 192-1995 Norma General para Aditivos Alimentarios establece 200 mg/kg de nitrito residual en el producto final. Esta variabilidad normativa resalta la importancia de diferenciar entre límites de adición y residuos en el producto terminado.

1.4.3. Tendencias actuales hacia alternativas naturales

Debido a las preocupaciones de salud pública, se ha incrementado el interés por

sustituir los nitritos sintéticos por fuentes naturales, como el extracto de apio, rico en nitratos naturales, que son convertidos en nitritos durante el procesamiento. También se han investigado otras fuentes vegetales como el jugo de betarraga, espinaca y lechuga, así como antioxidantes naturales como el ácido ascórbico y extractos de plantas ricas en polifenoles (Sebranek *et al.*, 2012; Hospital *et al.*, 2016).

Estos productos, comúnmente etiquetados como “naturalmente curados”, han ganado aceptación entre consumidores que buscan alimentos más saludables, aunque aún representan desafíos tecnológicos en términos de control microbiológico y estandarización del color (Sindelar & Milkowski, 2011).

1.5. Alternativas naturales a los nitritos y nitratos

La creciente preocupación de los consumidores por la seguridad alimentaria y los posibles efectos negativos del uso prolongado de aditivos sintéticos ha impulsado la búsqueda de alternativas naturales al uso de nitritos y nitratos en productos cárnicos. En este contexto surgen conceptos como el “curado natural” y el enfoque de “etiquetado limpio” (clean label), que buscan ofrecer productos más saludables, sin comprometer la calidad sensorial ni la inocuidad microbiológica.

1.5.1. Concepto de “curado natural”

El “curado natural” se refiere al uso de ingredientes de origen vegetal que contienen nitratos de forma natural, los cuales se convierten en nitritos mediante procesos bacterianos, simulando el efecto de los nitritos sintéticos. Estos productos se etiquetan como “sin nitritos añadidos”, aunque funcionalmente sí los contienen, pero derivados de fuentes vegetales (Sebranek & Bacus, 2007).

1.5.2. Extractos vegetales con actividad nitrata o antioxidante

Entre los ingredientes vegetales más utilizados como fuentes naturales de nitrato se encuentran:

- Apio (*Apium graveolens*): rico en nitratos naturales, es uno de los ingredientes más comunes en productos curados naturalmente. Se emplea en forma de polvo o extracto fermentado.
- Betarraga (*Beta vulgaris*), espinaca, lechuga y rúcula: también contienen niveles elevados de nitrato, y pueden ser utilizados como ingredientes funcionales en procesos de curado (Hospital *et al.*, 2016).
- Extractos antioxidantes: ingredientes como el ácido ascórbico (vitamina C), extracto de uva, romero o cereza acerola, se emplean para prevenir la formación

de nitrosaminas y estabilizar el color y el sabor (Sindelar & Milkowski, 2011).

La fermentación bacteriana controlada de estos extractos permite la conversión eficiente de nitrato a nitrito, emulando el proceso de curado tradicional. (Sebranek & Bacus, 2007; Sindelar *et al.*, 2007; Horsch *et al.*, 2014).

1.5.3. Eficacia comparada con aditivos sintéticos

Diversos estudios han demostrado que los ingredientes naturales con contenido de nitrato pueden lograr efectos tecnológicos comparables a los nitritos sintéticos en aspectos como color, sabor y, en cierta medida, inhibición microbiana. Sin embargo, su eficacia puede verse afectada por:

- Variabilidad en la concentración de nitratos naturales (dependiente del tipo de vegetal, condiciones de cultivo y procesamiento).
- Tiempo y condiciones del proceso: los productos naturalmente curados suelen requerir una fermentación o incubación específica para permitir la conversión del nitrato en nitrito (Sebranek *et al.*, 2012).
- Menor eficacia antimicrobiana frente a patógenos como *Clostridium botulinum*, lo que implica riesgos si no se controla estrictamente el proceso (Pegg & Shahidi, 2000).

1.6. El polvo de apio (*Apium graveolens*) como fuente de nitratos

El apio (*Apium graveolens*) (Figura 3) es una de las principales fuentes vegetales utilizadas como ingrediente funcional en productos cárnicos “naturalmente curados”. Su valor radica en su elevado contenido de nitratos naturales, los cuales, bajo condiciones controladas, pueden convertirse en nitritos, emulando la acción de los aditivos sintéticos tradicionalmente usados en la industria cárnica, por lo que es una alternativa ampliamente aceptada en la tendencia hacia productos de curado natural. (Sebranek & Bacus, 2007; Pegg & Shahidi, 2000; Sindelar & Houser, 2009).

Figura 3

Apio



1.6.1. Composición química y contenido natural de nitratos

Hord *et al.*, 2009, mencionan que el apio es un vegetal que pertenece a la

familia de las apiáceas y se caracteriza por contener una importante cantidad de nitratos en sus tejidos. Este contenido puede variar considerablemente dependiendo de factores como la variedad de la planta, las condiciones de cultivo, el tipo de fertilización nitrogenada, la parte del vegetal utilizada y el momento de cosecha.

Los estudios han reportado que el contenido de nitrato en apio puede oscilar entre 2,000 y 4,800 mg/kg en peso fresco (Santamaria, 2006), y este valor puede concentrarse aún más en su forma deshidratada (polvo). En polvo seco, los niveles pueden alcanzar hasta 50,000 ppm (mg/kg) de nitrato (Sebranek *et al.*, 2012).

Además del nitrato, el apio contiene compuestos antioxidantes naturales como vitamina C, flavonoides y polifenoles, lo que refuerza su utilidad como ingrediente funcional en productos cárnicos curados naturalmente (Sindelar & Houser, 2009).

1.6.1.1. Mecanismo de conversión bacteriana a nitrito.

Para que el nitrato presente en el polvo de apio ejerza una acción curante similar al nitrito sintético, debe ser biológicamente reducido a nitrito (NO_2^-) mediante la acción de bacterias nitrato-reductoras. Este proceso se lleva a cabo durante la etapa de incubación del producto cárnico, donde se aplican condiciones favorables de temperatura, humedad y tiempo. (Sebranek & Bacus, 2007; Sindelar *et al.*, 2007; Horsch *et al.*, 2014).

Generalmente, se incorporan cultivos iniciadores (starter cultures), principalmente bacterias del género *Staphylococcus* o *Micrococcus*, que poseen la capacidad enzimática (nitrato reductasa) para transformar el nitrato en nitrito (Toldrá, 2010).

Otros estudios como los de Watanabe & Yamasaki (2016), demostraron la formación de nitrito a partir del nitrato sin cultivos reductores, indicando que se atribuye a la actividad bacteriana del nitrato reductasa que convierte el nitrato en nitrito en el proceso de descomposición de las hojas de espinaca.

Sebranek & Bacus (2007), indican que, esta conversión puede tardar entre 4 a 24 horas dependiendo del tipo de producto, la cantidad de nitrato y la actividad microbiana presente.

Una vez formado el nitrito, este actúa como agente curante al:

- Desarrollar el color rosado típico (formación de nitrosomioglobina),
- Inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Clostridium botulinum*,
- Contribuir al sabor y aroma característicos del producto curado.

1.7. El achiote (*Bixa orellana*) como antimicrobiano

El achiote se obtiene de las semillas del arbusto *Bixa orellana* (Figura 4), su uso se ha extendido tradicionalmente como colorante natural, pero investigaciones recientes han demostrado que también posee propiedades antimicrobianas y antioxidantes que lo hacen atractivo como ingrediente funcional en productos cárnicos, particularmente en el contexto del curado natural. (Pérez-Fons *et al.*, 2007; Cevallos-Cevallos *et al.*, 2011).

Figura 4

Semillas de achiote



1.7.1. Composición (*bixina, norbixina, compuestos fenólicos*)

Los principales compuestos bioactivos del achiote son los carotenoides apolares:

- Bixina: carotenoide liposoluble que constituye entre el 70 y 80 % de los pigmentos presentes en la semilla, es responsable del color rojizo característico del extracto de achiote.
- Norbixina: es la forma hidrosoluble derivada de la bixina, obtenida mediante saponificación, se emplea especialmente en alimentos con contenido acuoso.
- Compuestos fenólicos: además de los carotenoides, el achiote contiene flavonoides, taninos y otros antioxidantes naturales que pueden contribuir a su efecto antimicrobiano (Aruldass *et al.*, 2021).

Estos compuestos confieren al achiote un alto potencial bioactivo, no solo como colorante, sino también como agente conservante en alimentos.

1.7.2. *Uso tradicional y funcionalidad tecnológica*

El achiote es utilizado tradicionalmente en América Latina y el Caribe tanto como condimento culinario como en prácticas de conservación. Se usa en preparaciones ancestrales, mezclado con sal, grasa o jugos cítricos para preservar alimentos, aprovechando sus propiedades aromáticas y su acción antioxidante natural.

Desde el punto de vista tecnológico, el achiote se utiliza en la industria alimentaria por sus múltiples funciones:

- Colorante natural (E160b) en productos lácteos, mantequillas, embutidos y snacks.
- Potencial antimicrobiano: Estudios han demostrado que los extractos de *Bixa orellana* poseen actividad antimicrobiana contra bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Staphylococcus aureus*, atribuida en parte a la presencia de carotenoides (bixina, norbixina) y compuestos fenólicos (Oliveira *et al.*, 2020). Asimismo, otros estudios han evidenciado actividad inhibitoria de extractos de achiote frente a *Listeria monocytogenes* (Morais *et al.*, 2021).
- Actividad antioxidante: Diversos estudios han reportado que el achiote posee compuestos fenólicos y carotenoides con capacidad antioxidante, lo que permite reducir la oxidación lipídica en productos cárnicos, prolongando su vida útil y conservando el color y sabor (Oliveira *et al.*, 2020; Morais *et al.*, 2021).

La incorporación del achiote en formulaciones cárnicas puede ser particularmente útil en productos donde se busca reducir o eliminar el uso de aditivos sintéticos, contribuyendo al desarrollo de alimentos más naturales y seguros (Delgado-Ospina *et al.*, 2021).

1.8. Requisitos microbiológicos en carnes curadas

1.8.1. Clostridium botulinum

En relación con la presencia de *C. botulinum* en los alimentos, en la Tabla 5.1 se resumen algunas de las propiedades fisiológicas más importantes de los distintos tipos, entre los que se aprecian grandes diferencias. En el caso particular de los grupos I y II, se observa que las cepas proteolíticas de *C. botulinum* tienen una temperatura mínima de crecimiento superior a la de las no proteolíticas (10-12 °C frente a 2,5-3 °C), pero son ligeramente más resistentes al pH y a la concentración de sal. Además, durante el crecimiento de *C. botulinum* en los alimentos, las cepas proteolíticas producen olores desagradables, lo que reduce el riesgo de consumo del alimento.

Actualmente, el botulismo es una enfermedad muy poco común debido a las regulaciones que se tienen en cuanto al consumo de productos cárnicos. Estas regulaciones son indispensables, ya que el consumo de tan solo 30 ng de toxina es suficiente para producir enfermedad o incluso la muerte (Lund y Peck, 2000).

1.8.2. *Escherichia coli*

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) es un habitante normal del intestino de todos los animales. La *E. coli* ejerce una función útil al organismo cuando suprime la fijación y desarrollo de especies bacterianas perjudiciales en el tracto intestinal, y sintetiza importantes cantidades de vitaminas. Una minoría de cepas de *E. coli* es capaz de causar enfermedades en el hombre por diferentes mecanismos.

1.8.3. *Aerobios mesófilos*

Los altos niveles de contaminación por organismos coliformes, mesófilos y *Staphylococcus aureus* en alimentos indican el alto riesgo epidemiológico que representa su consumo cuando son preparados en deficientes condiciones higiénicas, manipulaciones incorrectas y mantenimiento de estos productos a temperatura ambiente durante un tiempo prolongado (Blanco-Ríos, *et al.* 2011).

1.8.4. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus es una bacteria esférica (coco) que, para la microscopía óptica, aparece en pares, cadenas pequeñas o racimos. Esos organismos son Gram positivos y algunas cepas producen una toxina proteínica altamente termoestable que ocasiona enfermedades. Otro aspecto importante para la salud pública es la termorresistencia de la toxina estafilocócica, aun a 100°C (212°F), por 30 minutos. Los alimentos frecuentemente asociados a la intoxicación estafilocócica son carnes y derivados (OMS, 2016). *Staphylococcus aureus* es un coco Gram-positivo, catalasa positivo, oxidasa negativo y anaerobio facultativo. Se considera un mesófilo típico, capaz de crecer entre 7 y 48 °C, con temperatura óptima entre 35 y 40 °C, y un pH de crecimiento óptimo cercano a 6–7 (Jay *et al.*, 2005; ICMSF, 1996).

1.8.5. *Salmonella spp*

Son bacilos Gran- negativos, catalasa positiva, oxidasa negativa su temperatura de crecimiento oscila entre 5° a 47° C siendo su temperatura óptima a 37 °C, su pH va en torno a 7 (Jay *et al.*, 2005; ICMSF, 1996).

Según la Norma Sanitaria del Ministerio de Salud del Perú (MINSA, 2008), sobre requisitos microbiológicos para productos cárnicos crudos, no debe detectarse la presencia de *Salmonella spp.* en las muestras analizadas, ya que su detección en una porción de 25 g hace que el producto sea considerado no apto para el consumo humano.

Estos criterios se mencionan a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5*Criterios microbiológicos para piezas cárnicas crudas curadas*

<i>Agente microbiano</i>	<i>Categoría</i>	<i>Clase</i>	<i>n</i>	<i>c</i>	<i>Límite por g</i>	
					<i>m</i>	<i>M</i>
<i>Aerobios mesófilos (30°C)</i>	1	3	5	3	10^5	10^7
<i>Escherichia coli</i>	6	3	5	1	50	5×10^2
<i>Staphylococcus aureus</i>	8	3	5	1	10^2	10^3
<i>Clostridium perfringens</i>	8	3	5	1	10^2	10^3
<i>Salmonella sp</i>	10	2	5	0	Ausencia/25g	-

Nota. Adaptado de Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano, Ministerio de Salud – MINSA (2008).

1.9. Análisis sensorial

1.9.1. Color

El color es uno de los atributos sensoriales más importantes en los productos cárnicos curados, ya que influye directamente en la percepción de frescura, calidad y aceptación por parte del consumidor (Mancini & Hunt, 2005).

Honikel, (2008), menciona que, en carnes curadas, el desarrollo del color rojo característico está asociado a la formación de nitrosomioglobina, compuesta resultante de la reacción entre los nitritos y la mioglobina presente en el músculo. Sin embargo, en procesos naturales, esta reacción puede ser inducida mediante precursores de nitrato contenidos en vegetales como el apio, y complementada con compuestos colorantes como los carotenoides del achiote.

1.9.1.1.1. Sistema CIELAB

El sistema de color CIELAB (también denominado CIE 1976 $L^*a^*b^*$) fue desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación con el fin de proporcionar un espacio perceptualmente uniforme, donde las diferencias numéricas entre dos colores correspondan de manera aproximada a las diferencias percibidas visualmente por el ojo humano (CIE, 2019). Este modelo es tridimensional y está compuesto por tres coordenadas: L^* , que representa la luminosidad o claridad, a^* , que describe el eje verde-rojo, y b^* , que corresponde al eje azul-amarillo (Figura 5). Su ventaja principal es que constituye un espacio independiente del dispositivo, ya que se deriva del espacio CIE XYZ, lo cual permite comparar y comunicar colores de forma estandarizada en

aplicaciones industriales, científicas y de control de calidad (Schanda, 2007).

En la Tabla 6 se muestran los valores típicos de carnes curadas (jamón, tocino, embutidos curados).

1.9.1.2. Valores de referencia del sistema CIELAB en carne curada

Tabla 6

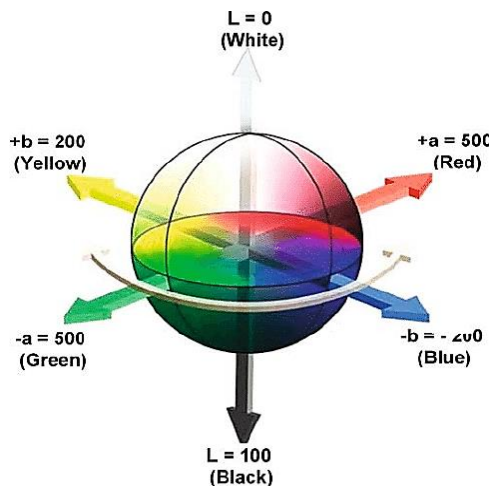
Valores de referencia del sistema CIELAB en productos cárnicos curados

Parámetro	Rango típico	Interpretación
L* (Luminosidad)	35 – 55	Valores bajos indican tonos oscuros (carne curada más seca), y valores altos indican mayor claridad o contenido de grasa.
a* (rojo-verde)	10 – 20	Valores positivos indican mayor intensidad del color rojo deseado en carnes curadas.
b* (amarillo-azul)	5 – 12	Valores positivos indican presencia de tonalidades amarillentas (posible influencia de grasas, especias).

Nota: Adaptado de Jimenez-colmenero et al (1991), Lorenzo & Franco (2012) y Toldrá (2021)

Figura 5

Escala de color Cielab



- L*: representa la luminosidad del objeto, con valores que van de 0 (negro) a 100 (blanco).
- a*: indica la dirección del color entre el verde (-a*) y el rojo (+a*).
- b*: representa la dirección entre el azul (-b*) y el amarillo (+b*)

Adaptado de Pathare et al., (2013)

1.9.2. Aroma

Lenntec, (2019), indica que el olor forma una parte importante en nuestra capacidad de percepción. Según Corneliu-Boișteanu *et al.* (2022), el aroma de la carne curada está directamente influenciado por la formulación de la salmuera o mezcla de curado, así como por la calidad y estado de la materia prima. En formulaciones sin ahumado, el aroma debe ser limpio, equilibrado y definido. Es fundamental que el producto esté libre de olores rancios, sulfurosos, amoniacales o cualquier nota desagradable, ya que estos indican deterioro, oxidación de grasas o contaminación microbiológica. La presencia de estos olores comprometería no solo la aceptabilidad sensorial, sino también la inocuidad del producto final.

1.9.3. Sabor

El gusto, que se localiza sobre todo en las papilas gustativas de la lengua, puede ser amargo, ácido, salado o dulce, en función del punto en el que se reconoce (amargo en la parte posterior de la lengua; ácido en los lados; salado en los laterales cerca de la punta; dulce, en la punta). (Murray, R., & Ullrich, N., 2012)

1.9.4. Textura

Bourne (2002), afirma que alcanzar la calidad textural deseada en un alimento tiene consideraciones económicas importantes. La gama de precios es su textura. La carne tierna alcanza un precio más alto.

1.10. Requisitos fisicoquímicos

1.10.1. Humedad

Viuda-Martos *et al.* (2023), mencionan que, en el caso de productos cárnicos crudos curados con integridad anatómica, aunque depende mucho del tipo de pieza, se espera que la pérdida de humedad en el producto final sea alrededor del 34% de su peso inicial.

La humedad en productos cárnicos curados (como jamón de res, cecina, etc.) suele reducirse del 70–75% original en carne fresca a valores entre 35% y 55% en el producto curado. Toldrá, F. (2007). Este rango depende del grado de curado, secado y maduración, así como de la normativa del país o del tipo de producto específico.

1.10.2. Actividad de agua (aw)

Andújar (1998), menciona que los microorganismos tienen diferente capacidad para crecer a baja aw, lo cual se expresa generalmente mediante la aw mínima de crecimiento. La Tabla 7 muestra este índice para microorganismos importantes en la

carne y los productos cárnicos, se destaca en la tabla el hecho de que la mayoría de las bacterias patógenas o que de algún modo resultan relevantes en los fenómenos de deterioro no crecen a valores de a_w por debajo de 0,94 - 0,95.

Tabla 7

Actividad de agua mínima de crecimiento de microorganismos asociados con carnes y productos cárnicos.

a_w	Bacterias	Levaduras	Mohos
0,98	<i>Clostridium</i> ^a , <i>Pseudomonas</i> *	-----	-----
0,97	<i>Clostridium</i> ^b	-----	-----
0,96	<i>Flavobacterium</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Lactobacillus</i> *, <i>Proteus</i> *, <i>Pseudomonas</i> *, <i>Shigella</i>	-----	-----
0,95	<i>Alcaligenes</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Clostridium</i> ^c , <i>Enterobacter</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Serratia</i> , <i>Vibrio</i> .	-----	-----
0,94	<i>Lactobacillus</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Streptococcus</i> .	-----	-----
0,93	<i>Lactobacillus</i> *, <i>Streptococcus</i> , <i>Vibrio</i> .	-----	Rhizopus, Mucor.
0,92	-----	Rodotorula, Pichia.	-----
0,91	<i>Corynebacterium</i> , <i>Staphylococcus</i> ^d , <i>Streptococcus</i> *	-----	-----
0,90	<i>Micrococcus</i> , <i>Pediococcus</i> .	Saccharomyces, Hansenula	-----
0,88	-----	Candida, Torulopsis.	Cladosporium
0,87	-----	Debariomyces	-----
0,86	<i>Staphylococcus</i> ^e	-----	-----
0,85	-----	-----	Penicillium
0,75	Bacterias halófilas.	-----	-----
0,65	-----	-----	Aspergillus

* Algunas especies

^a CL *Botulinum* tipo C.

^b CL *Botulinum* tipo E y algunas cepas del C.

^c CL *Botulinum* tipo A, b y C, y CL *perfringens*

^d Anaerobio

Nota: Tomado de W. *Water Activity in Meats en Water Relation in Foods (1975)*, por Leistner, L. y Rödel

1.10.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

El término CRA se define como la propiedad de una proteína cárnica para retener el agua tanto propia como añadida, cuando se somete a un proceso de elaboración (tratamiento térmico, extrusión, etc.). Otros autores distinguen la CRA como la capacidad de retener el agua propia y la CLA como capacidad de retener el agua añadida (capacidad de ligar agua) Mantener una CRA óptima es crucial para asegurar que la carne curada permanezca jugosa, tierna y con buena textura, una alta CRA también puede indicar una mejor calidad del producto y un mejor rendimiento durante el proceso de cocción (López & carballo, 1991).

Si bien no existe un estándar numérico establecido en la literatura para CRA en carnes curadas, diversos autores coinciden en que valores superiores al 70 % se vinculan con mayor jugosidad y rendimiento tecnológico (Fernández & Caballero, 2001; Toldrá, 2006). Estudios comparativos de wet-aging en carne muestran contenido de humedad alrededor del 70 %, mientras que el dry-aging puede alcanzar ~66 % (Kim *et al.*, 2023), lo cual sugiere que niveles cercanos o por encima del 70 % representan una retención de agua elevada. Teniendo como base estos valores, a continuación, en la Tabla 8 se muestran los valores recomendados:

Tabla 8

Ficha Técnica - Carnes Curadas de Res

Parámetro	Valor Recomendado
Humedad (%)	35 – 55
pH final	5.3 – 5.8
Capacidad de Retención de Agua (CRA) (%)	70 – 75

Nota. *Adaptado* de Toldrá (2006), Fernández & Caballero (2001) y FAO (2016)

1.10.3.1. Factores que influyen en la CRA de la carne.

• Adición de sales (cloruro sódico)

La CRA en una carne a la que se le ha añadido cloruro sódico depende del pH, si el pH es mayor que 5 la CRA se mejora notablemente y si el pH es menor de 5 la CRA disminuye al añadir sal. Es un hecho experimental y existen numerosas hipótesis,

entre ellas, la más aceptable es que el ión Cl es mucho más activo que el Na y es capaz de neutralizar las cargas positivas del músculo a pH menor que 5. A pH mayor que 5 el músculo está cargado negativamente, por lo que el ion Cl resulta inactivo (López & Carballo, 1991).

La CRA depende principalmente de la estructura de las proteínas miofibrilares, la fuerza iónica, la presencia de sal, y especialmente del pH del tejido muscular. Se ha comprobado que cuando el pH de la carne se aproxima al punto isoeléctrico de las proteínas (alrededor de 5.2–5.4), la capacidad de retención de agua disminuye, debido a la pérdida de repulsión electrostática entre cadenas proteicas, lo que genera una expulsión del agua intracelular (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001).

La medición de la CRA puede realizarse por diversos métodos, como el prensado o la centrifugación, y su valor se expresa generalmente como un porcentaje de agua retenida respecto al total de agua disponible en la muestra.

1.10.3.2. pH

Schmidtr-Hebbel, *et al.* (1983), plantean que, para la elaboración de productos cárnicos crudos la zona de pH más apropiada está entre 5.5 y 5,8, en la cual la carne posee una “estructura abierta”, es decir, las fibras musculares están ampliamente separadas unas de otras y así, la sal, sustancias curante y otros aditivos pueden penetrar más fácilmente en el interior de las piezas de carne. La zona de pH entre 5.5 y 5,8 garantiza, además, ventajas para una buena curación, amplio desarrollo y estabilidad del color y una óptima durabilidad del producto curado, puesto que el pH ácido provoca una suficiente exudación del jugo cárnico. Esta exudación reduce el valor del producto, impidiendo el desarrollo de microorganismos causantes de deterioro.

Toldrá, 2007, menciona que el pH adecuado en productos cárnicos curados suele situarse entre 5,3 y 5,8, dependiendo del tipo de carne y del proceso tecnológico.

1.10.4. *Materia prima e ingredientes para la elaboración de carne curada*

1.10.4.1. Carne de res (lomo fino)

La principal consideración al seleccionar la carne de res a utilizar para elaborar el producto es que cumpla con las características típicas de una carne fresca, el color, aroma y consistencia característico de un corte de lomo fino de alta calidad.

1.10.4.2. Sal gruesa de maras

La capacidad de la sal para deshidratar carne se debe a su acción osmótica, ya que cuando se aplica sal a la superficie de la carne, esta extrae agua del tejido muscular y de los microorganismos presentes, reduciendo así la actividad del agua (A_w). Esta reducción impide el desarrollo de bacterias y hongos, favoreciendo la conservación (Toldrá, 2015).

En el caso de carnes curadas mediante salazón seca, se utiliza comúnmente entre 2% y 5% de sal respecto al peso total de la carne, aunque en métodos tradicionales puede llegar al 8-10% (Barbut, 2015).

La sal de Maras es un producto natural extraído de pozas salineras ubicadas en la región andina de Cusco, Perú y, a diferencia de la sal refinada, esta sal no pasa por procesos industriales, lo que le permite conservar una mayor cantidad de minerales traza como calcio, magnesio, potasio y zinc, que contribuyen a un perfil nutricional más rico y a sabores más complejos (Salcedo, 2017).

En el proceso de curado de carnes, la sal gruesa tiene ventajas funcionales. Su tamaño de grano mayor permite una liberación lenta de la salinidad, facilitando una deshidratación progresiva y un curado más uniforme, lo que evita una penetración excesivamente rápida que podría afectar la textura o provocar un curado desigual (Barbut, 2015).

1.10.4.3. Ajo.

El ajo (*Allium sativum*) es rico en compuestos organosulfurados como la alicina, que ha sido identificada como el principal responsable de su eficacia antimicrobiana frente a microorganismos patógenos, incluyendo *Escherichia coli* y *Clostridium botulinum*. También posee capacidades antibiofilm y antioxidantes en matrices alimentarias (Cavallito & Bailey, 1944)

1.10.4.4. Pimienta.

La pimienta negra (*Piper nigrum*) es conocida como “la reina de las especias” por su versatilidad. Su sabor picante y ligeramente amargo proviene de la piperina, mientras que su aroma proviene de aceites volátiles. Se utiliza para dar profundidad y calidez a platos salados, especialmente en carnes y salsas (Srinivasan, 2007).

1.10.4.5. Comino.

El comino (*Cuminum cyminum*) posee un sabor cálido, ligeramente amargo y terroso, con notas que recuerdan a nuez y cítricos. Es un ingrediente fundamental en mezclas de especias como el curry y en la cocina latinoamericana para sazonar carnes y sopas (Peter, 2001).

1.10.4.6. Ají panca en polvo.

El ají panca (*Capsicum chinense*), propio de la gastronomía peruana, forma parte del grupo de ajíes con elevada concentración de carotenoides como capsantina y capsorrubina, así como compuestos fenólicos. Estos pigmentos naturales le conferirían un color intenso y tienen actividad antioxidante documentada que puede contribuir a la estabilidad del color y longevidad del producto (Mohd Hassan *et al.*, 2019).

1.10.4.7. Páprika.

La páprika (*Capsicum annuum*) contiene carotenoides como capsantina y capsorrubina y polifenoles con efectos antioxidantes. En estudios con salchichas tipo emulsión, su uso redujo significativamente la oxidación lipídica (TBARS), mejoró la retención de agua y estabilizó el color durante el almacenamiento (Kim & Chin, 2023)

1.10.4.8. Semillas de culantro.

Las semillas de culantro (*Coriandrum sativum*) tienen un sabor cítrico y ligeramente dulce, con un toque terroso. Su aroma es más suave que el de las hojas, y se usan enteras o molidas para condimentar carnes, guisos y adobos (Sriti *et al.*, 2011)

1.11. Determinación del tiempo de cocción de la carne curada

La carne curada de res, como el pastrami, la cecina o el corned beef, puede ser segura para el consumo si ha sido previamente cocida o deshidratada adecuadamente. Sin embargo, cuando se trata de carne curada cruda, esta debe ser cocinada para garantizar su inocuidad. El United States Department of Agriculture (USDA) establece que cortes enteros de carne de res, cerdo, cordero o ternera deben alcanzar una temperatura interna mínima de 63 °C (145 °F) para garantizar la inocuidad del producto, seguida de un reposo de al menos 3 minutos, como medida de seguridad alimentaria pese a no tratarse de carne cocida completamente. Por otro lado, productos completamente deshidratados como la cecina, si han sido elaborados bajo condiciones seguras, no requieren cocción adicional (USDA, 2022).

1.12. Evaluación sensorial

Esta se define como una disciplina científica que permite evocar, medir, analizar e interpretar las respuestas del ser humano a las características organolépticas de los alimentos, percibidas a través de los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Baños *et al.*, 2014).

1.12.1. Pruebas hedónicas

Las pruebas hedónicas permiten medir cuánto le gusta o disgusta una persona un producto alimentario. El consumidor suele indicar su grado de agrado usando una escala verbal numérica impresa en la ficha de evaluación tras su primera impresión. La escala hedónica de 9 puntos es la más común en ciencia de alimentos, ya que ofrece una buena capacidad de discriminación y ha demostrado su validez en múltiples estudios (Peryam & Pilgrim, 1957; Society of Sensory Professionals, 2021).

1.13. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas es una técnica estadística utilizada para optimizar formulaciones en las que las variables independientes son proporciones de componentes que suman un total constante (por ejemplo, 100%). En Design-Expert 13, esta metodología permite evaluar cómo afectan las diferentes combinaciones de ingredientes a una o más respuestas, utilizando modelos polinomiales para identificar formulaciones óptimas (Stat-Ease, Inc., 2020).

1.14. Prueba de Wilcoxon

La prueba de Wilcoxon es una técnica estadística no paramétrica utilizada para comparar dos muestras relacionadas, con el fin de evaluar si existe una diferencia significativa en la mediana de sus distribuciones. Es una alternativa a la prueba *t* de muestras pareadas cuando los datos no siguen una distribución normal o cuando se trata de datos ordinales, como ocurre frecuentemente en estudios sensoriales (Siegel & Castellan, 1988). Esta prueba ordena las diferencias absolutas entre los pares de datos, les asigna rangos en función de su magnitud y luego considera el sentido de cada diferencia (si fue positiva o negativa) para determinar si existe una tendencia sistemática en las respuestas de los evaluadores.

CAPÍTULO II.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Industrial, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH). El periodo de ejecución de los experimentos fue desde inicio de diciembre del 2024 a mayo del 2025.

2.2. Tipo de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada de tipo experimental.

2.3. Nivel de investigación

De acuerdo con la naturaleza del estudio, la investigación reúne las características de un estudio explicativo.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

Todas las carnes de res frescas obtenidas en el Mercado Central de Ayacucho, aptas para el consumo humano y utilizadas como materia prima en procesos de curado artesanal.

2.4.2. Muestra

Se consideraron 20 kg de carne de res (corte estandarizado), distribuidos en nueve tratamientos experimentales (8 formulaciones con polvo de apio y achiote + 1 control con sal de cura), replicados para análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial.

2.5. Materias primas e insumos

2.5.1. Materia prima

Se utilizó carne de res (lomo) adquirida en el mercado Central de Ayacucho- Huamanga.

2.5.1.1. Acondicionamiento de la materia prima.

Para la obtención del polvo de apio y de achiote, se desinfectó, deshidrató y trituraron ambos insumos.

2.5.2. Insumos

- Sal de grano Maras

- Sal de cura
- Páprika
- Ají panca en polvo
- Pimienta
- Comino
- Semillas de culantro
- Ajo

2.6. Materiales y equipos

2.6.1. *Materiales de laboratorio*

- Cuchillo
- Tabla de picar
- Pinzas metálicas
- Placas Petri
- Luna de reloj
- Espátula
- Olla de 2L
- Tinajas
- Papel filtro
- Tiras de detección y cuantificación de nitritos y nitratos
- Vaso Erlenmeyer de 250 mL
- Tijera
- Soporte universal

2.6.2. Equipos

- Balanza analítica A&D 12315958
- Hornilla eléctrica
- Estufa eléctrica Shellab Modelo 1320-2 serie 01045206
- Licuadora
- Selladora PFS
- Termómetro de cocina
- Phmetro Quimis Modelo Q400MT-110/220V Serie 11110928
- Refrigeradora COLDEX modelo 220 v-60c/s serie 327891
- Colorímetro PCE-XXM 20
- Termohigrómetro ThermoPro TP50

2.6.3. Software

- Design expert 13

2.7. Metodología

2.7.1. Tratamientos experimentales

Para la formulación de tratamientos experimentales, se tomó como base la metodología planteada en la investigación de Alemán (2019), que empleó la sustitución parcial y total de nitritos: D1(100% nitral), D2(50:50 apio/nitral), D3(75:25 apio/nitral), D4(100% apio). En el presente estudio, se definieron diferentes proporciones de polvo de apio y polvo de achiote como agentes curantes naturales en carne de res, las cuales fueron ingresadas al software Design-Expert versión 13, utilizando la herramienta de diseño de mezclas (mixture design), generando una propuesta de ocho formulaciones (corridas experimentales), las cuales fueron elaboradas y sometidas a evaluación.

Adicionalmente, se consideró un tratamiento control, cuya formulación contuvo exclusivamente sal de cura, sin inclusión de ingredientes naturales (aparte del recubrimiento, que fue igual tanto para los tratamientos con polvo de achiote y polvo de apio como para el tratamiento control) (Tabla 9).

Tabla 9

Formulaciones para la elaboración de carne curada por tratamiento

	<i>Achiote en polvo (%)</i>	<i>Apio en polvo (%)</i>	<i>Sal de maras (%)</i>	<i>Ajo (%)</i>	<i>Semillas de culantro (%)</i>	<i>Páprika (%)</i>	<i>Pimienta (%)</i>	<i>Ají panca en polvo (%)</i>	<i>Comino (%)</i>
T1	10	90	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T2	15	85	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T3	25	75	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T4	5	95	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T5	15	85	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T6	25	75	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T7	20	80	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1
T8	5	95	5	2	0.2	10	0.1	0.2	0.1

Nota. El achiote y el apio en polvo fueron mezclados en una proporción total de 10 g, expresados en base a 100%. Los porcentajes de achiote y apio en polvo se expresan como mezcla curante (suman 100%). Los demás ingredientes se expresan en función al peso total de carne (300 g) y son constantes.

2.7.2. Formulación y elaboración de la carne cruda curada de res

La obtención de la carne curada de res se realizó en tres etapas:

2.7.2.1. Primera etapa.

Obtención de polvo de apio y polvo de achiote

Procedimiento:

Descripción del proceso productivo, preparación de polvo de apio

(Figura 6)

Recepción: Se verificó que la materia prima que se adquirió del mercado Nery García Zárate esté en buenas condiciones (apio fresco).

Inspección visual: Se verificó que las ramas de apio no tengan magulladuras ni indicios de descomposición, las hojas verdes y frescas.

Selección: Se seleccionaron los tallos y hojas que se encuentren frescos y en buen estado, que no presentaron abolladuras, manchas ni defectos.

Pesado: Se pesó para tener un mejor control del rendimiento final

Lavado y desinfección: EL apio seleccionado y pesado se lavó con abundante agua para quitar cualquier resto de tierra o contaminante y se usó una solución de hipoclorito de sodio al 100 ppm para la desinfección.

Triturado: Las hojas y tallos se cortaron en láminas finas homogéneas, y se trituraron agregando 50% de agua en relación al peso del apio, haciendo uso de una licuadora.

Fermentación: Se le agregó a la mezcla licuada 5% de sal para inhibir el crecimiento de bacterias no deseadas, esto se llevó a fermentación durante 4 días, en un ambiente oscuro y a temperatura de 25° (Anexo 7). En este proceso se reducen los nitratos presentes en el apio en nitritos, determinando 50 ppm de nitrato en este proceso y 80 ppm de nitritos (Anexo 17).

Secado: El proceso de secado se realizó para la eliminación de agua presente en la mezcla fermentada. El proceso de secado se realizó exponiendo la mezcla fermentada de apio a la luz solar indirecta para no alterar sus propiedades químicas.

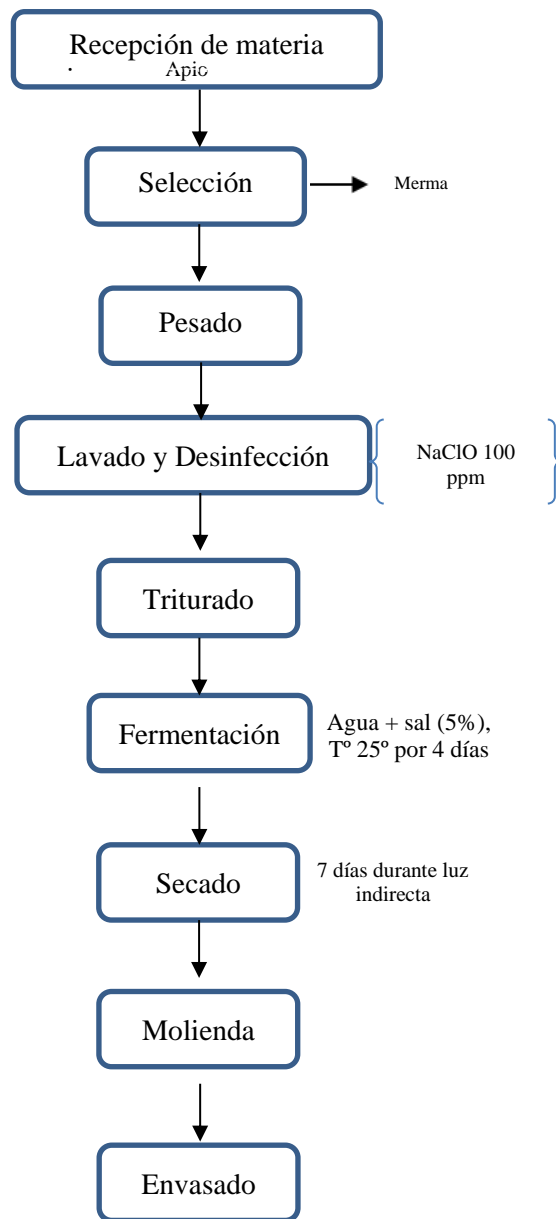
Molienda: Una vez seca, la mezcla se trituró haciendo uso de un procesador, hasta obtener un polvillo fino.

Envasado: Se procedió a envasar el polvo de apio en bolsas de polietileno para evitar su contaminación y que la humedad del ambiente no altere sus propiedades.

Almacenamiento: Se almacenó en un lugar fresco, ventilado y a temperatura ambiente.

Figura 6

Diagrama de flujo para la obtención de apio en polvo



Nota. Elaboración propia

Descripción del proceso productivo, preparación de polvo de achiote

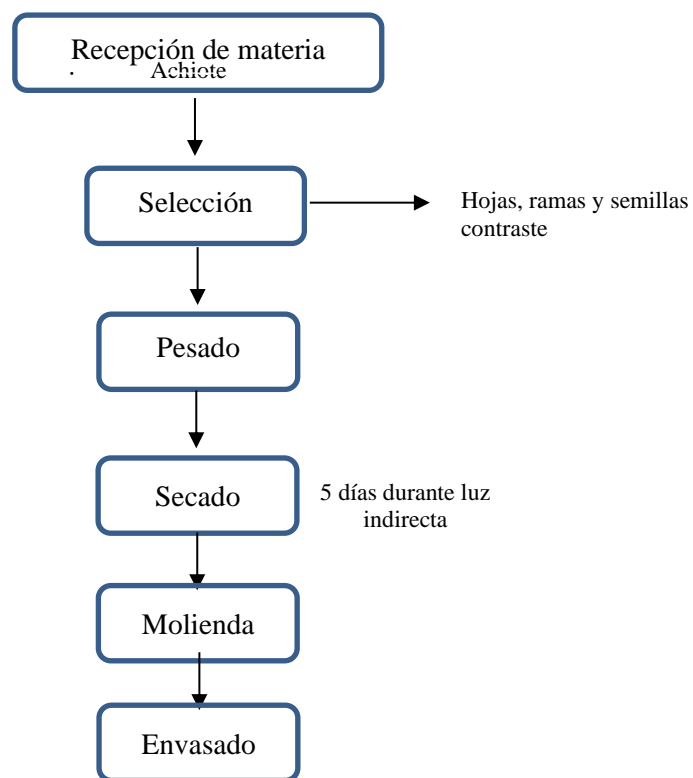
(Figura 7)

- **Recepción de materia:** La materia prima se cosechó de la misma planta, por nosotros mismos.
- **Selección:** Se seleccionaron las semillas de achiote que se encuentren en buen estado, descartando las hojas y pajillas que puedan tener.
- **Pesado:** Se pesó la cantidad de semillas de achiote en buen estado por el cual se obtuvo el rendimiento final.

- **Secado:** El proceso de secado se realizó exponiendo las semillas de achiote a una luz indirecta para no alterar sus propiedades químicas.
- **Molienda:** Una vez secos, las semillas de achiote se pulverizaron haciendo uso de un procesador, hasta obtener un polvillo fino.
- **Envasado:** Se envasó en bolsas de polietileno para evitar contaminación y que la humedad del ambiente no altere sus propiedades.

Figura 7

Diagrama de flujo para la obtención de achiote en polvo



Fuente: Elaboración propia

2.7.2.2.Segunda etapa.

Salado de la carne para eliminar el exceso de agua.

- **Recepción de materia prima:** La carne se adquirió en un puesto del Mercado Central de Ayacucho.
- **Fileteado de la carne:** Los trozos de carne se cortaron en sentido de la fibra, en filetes homogéneos.

- **Salado con sal gruesa (osmosis) y prensado:** En un envase de acero inoxidable con tapa y base de rejilla, se cubrieron por completo las piezas de carne con sal gruesa y se aplicó peso (prensa) de 1kg por 1kg de carne, luego se llevó a refrigeración (5 °C) por 3 días. Pasado el tiempo, se descartó el líquido y desaló, dejando sumergidas las piezas durante 3 horas como mínimo, para luego enjuagarlas con agua potable por 5 minutos.
- **Secado:** Se procedió a quitar exceso de agua con un papel absorbente aplicando presión por 10 minutos.

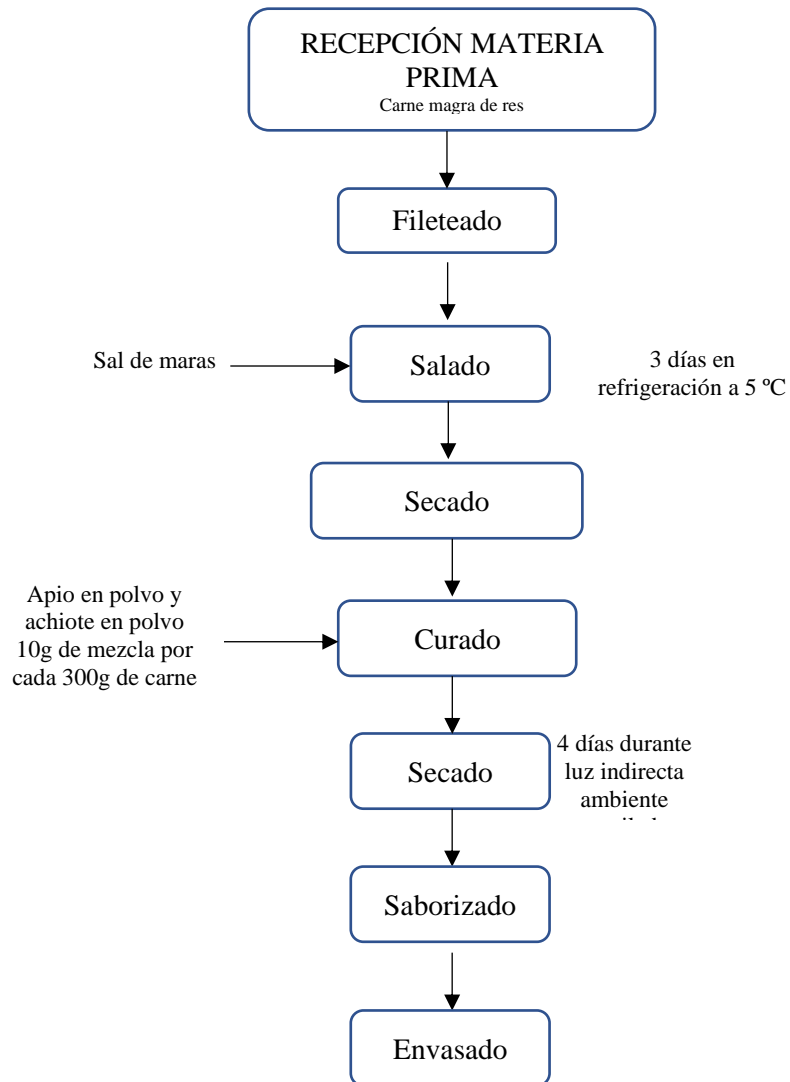
2.7.2.3.Tercera etapa.

Curado

- **Curado con mezcla de apio y achiote:** En una bandeja de acero inoxidable, se cubrió completamente las piezas con la mezcla (10g de mezcla por cada 300g de carne) y se procedió a colocarles un gancho para colgar los filetes de carne.
- **Secado:** Los trozos de carne fueron colgados en un ambiente inocuo, fresco y ventilado, lejos de la luz solar, durante 4 días.
- **Saborizado:** Con la finalidad de agregarle sabor al producto final, teniendo la carne seca y curada, se procedió a aplicar una cubierta de especias (ajo en pasta, semillas de culantro, pimienta, comino, paprika) la que se aplicó en forma homogénea en toda la superficie de la pieza de carne, dejando secar esta cubierta durante cuatro días, en un ambiente fresco, inocuo, ventilado y lejos de la luz solar.
- **Envasado:** Se colocaron las piezas de carne curada en las bolsas de envasado, asegurándonos de que queden distribuidas de manera uniforme y sin pliegues. Se procedió con la eliminación del aire; colocando la abertura de la bolsa en la barra de sellado de la máquina de envasado al vacío. La máquina elimina el aire de la bolsa y crea un sello hermético alrededor de la carne.
- **Almacenamiento:**
 - Temperatura: La carne curada debe almacenarse en un lugar fresco y seco. La temperatura ideal es entre 0°C y 4°C para evitar el crecimiento de bacterias.
 - Humedad relativa: Debe mantenerse un ambiente seco y con una humedad relativa de aproximadamente 60–70 %, con el fin de prevenir el crecimiento de mohos, bacterias u otros microorganismos.

Figura 8

Diagrama de flujo para carne cruda curada



Fuente: Elaboración propia

2.7.3. Variables analizadas

En la Tabla 10 se detallan las variables a medir y los métodos de ensayo utilizados:

Tabla 10

Variables a medir

Parámetros fisicoquímicos	Método de ensayo
pH	Potenciometría
Humedad	AOAC
CRA	Prensado
Parámetros microbiológicos	Método de ensayo
<i>Clostridium botulinum</i>	ICMSF
<i>Aerobios mesófilos</i>	ICMSF
<i>Escherichia coli</i>	ICMSF
<i>Clostridium perfringens</i>	ICMSF
<i>Staphylococcus aureus</i>	ISO 6888-1:12021
<i>Salmonella SPP</i>	ISO 6579-1:2017
Parámetro instrumental	Método de ensayo
Color	CIELab
Parámetros organolépticos	Método de ensayo
Aroma	
Sabor	Prueba afectiva de
Textura	aceptación con una escala
Apariencia	hedónica del 1-7

2.7.3.1. Parámetros fisicoquímicos.

2.7.3.1.1. Determinación de pH.

El pH de las muestras fue determinado mediante el método potenciométrico con electrodo combinado, utilizando un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer estándar de pH 4,00 y pH 7,00, siguiendo la metodología recomendada por la AOAC y el ICMSF para productos cárnicos (AOAC, 2019; ICMSF, 1986).

Para cada análisis, se pesaron 10 g de muestra y se mezclaron con 100 mL de agua destilada (relación 1:10), empleando una licuadora de alta velocidad durante 30 segundos, con el fin de obtener una suspensión homogénea, para luego ser inmediatamente transferida a un vaso de precipitado, donde se sumergió el electrodo combinado del pH-metro, realizando la lectura, una vez estabilizado el valor. Cada

medición fue realizada por triplicado, y el equipo fue enjuagado entre muestras con agua destilada para evitar contaminación cruzada.

2.7.3.1.2. Determinación de la humedad.

La determinación del contenido de humedad de las muestras se realizó mediante el método de secado en estufa por pérdida de masa, una técnica gravimétrica directa recomendada por la AOAC para alimentos con elevado contenido de agua, como las carnes (AOAC, 2019).

Para ello, se utilizaron placas Petri previamente desecadas en estufa a 102 ± 2 °C durante 60 minutos y luego enfriadas en desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Una vez secas, fueron pesadas (P_0) utilizando una balanza analítica con precisión de 0,1 mg. Posteriormente, se añadieron entre 3 a 5 g de muestra fresca y se registró el peso total (P_1). Las muestras fueron secadas en una estufa a 102 ± 2 °C durante aproximadamente 7 horas, hasta alcanzar peso constante. Luego, fueron nuevamente llevadas al desecador y pesadas para registrar el peso final (P_2).

El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \times 100$$

Donde:

Po: peso de la cápsula vacía (g)

P1: peso de la cápsula con muestra antes del secado (g)

P2: peso de la cápsula con muestra después del secado (g)

Este método permite obtener el contenido de agua evaporada en condiciones controladas de temperatura, lo cual resulta adecuado para carnes curadas, siempre que se evite la pérdida de compuestos volátiles distintos al agua (FAO, 1986; AOAC, 2019)

2.7.3.1.3. Determinación de la Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) fue determinada mediante el método de prensado sobre papel de filtro, basado en la técnica propuesta por Grau y Hamm (1953), y ampliamente utilizada en estudios de calidad tecnológica de carnes (Hamm, 1986). Aunque este método no está normado oficialmente por la AOAC, su uso está ampliamente validado en literatura científica para estimar la capacidad del músculo de

retener agua frente a fuerzas externas. En esta investigación se siguió la adaptación del protocolo descrito por Fuentes López *et al.* (s.f.), utilizando 10 kg de peso durante 15 minutos sobre 0,3 g de muestra colocada entre papeles de filtro.

Finalizado el tiempo de prensado, se retiró el peso, se separó cuidadosamente el papel con la muestra, y se registró el peso del papel húmedo (m_2), para luego secar el papel en una estufa a 60 °C durante 24 horas, tras lo cual se determinó el peso del papel seco (m_3).

A partir de estos datos y del contenido de humedad de la muestra (H), se calculó la CRA utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{CRA (g H}_2\text{O/100 g H}_2\text{O total)} = \left(\frac{(H \cdot m_1) - (m_2 - m_3)}{H \cdot m_1} \right) \cdot 100$$

Donde:

m_1 : masa de la muestra (g)

m_2 : masa del papel de filtro húmedo (g)

m_3 : masa del papel de filtro seco (g)

H: contenido de humedad de la muestra (g de agua/g de muestra)

Este valor representó la cantidad de agua retenida por la muestra tras la aplicación de presión, expresada en gramos de agua retenida por cada 100 gramos de agua total contenida en el producto.

2.7.3.2. Parámetros microbiológicos

Los análisis microbiológicos fueron realizados por el laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB), con el objetivo de evaluar la inocuidad microbiológica de las muestras de carne curada tratada, y control. Las muestras fueron recolectadas y transportadas, manteniéndose en refrigeración (4 °C) y en envases estériles, según los requisitos del laboratorio.

SLAB empleó métodos reconocidos internacionalmente por la ISO, la ICMSF y protocolos derivados de la norma ISO/IEC 17025, para el análisis de los siguientes microorganismos:

- Recuento de *Mesófilos aerobios* viables: según ICMSF, 2000.
- Recuento de *Escherichia coli*: ICMSF, Parte II, 2.ª ed.
- Detección de *Salmonella spp*: ISO 6579-1:2017/Amd 1:2020.
- Recuento de *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva: ISO 6888-1:2021.
- Recuento de *Clostridium perfringens*: ICMSF, 2.ª ed.

- Detección de *Clostridium botulinum*: ICMSF, 1983, reimpresión 2000.

Los resultados obtenidos se expresaron en UFC/g, ausencia por gramo o presencia/ausencia, y fueron comparados con los límites establecidos para piezas cárnicas crudas curadas según la normativa sanitaria peruana (MINSA, 2008).

2.7.3.3. Determinación de color CIELAB

El análisis instrumental del color fue realizado mediante un colorímetro portátil marca PCE, modelo PCE-XXM 20, el cual opera bajo el sistema de color *CIELAB* (*L*, *a*, *b**), ampliamente utilizado en el análisis de productos cárnicos procesados por su precisión y reproducibilidad.

Antes de iniciar la medición, el equipo fue calibrado y para cada muestra, se evaluaron dos zonas internas: la zona central interna, y el contorno interno del corte transversal, en cada una de estas zonas se realizaron tres mediciones independientes, posicionando el sensor directamente sobre la superficie del producto, registrándose los valores de:

- *L**: luminosidad (0 = negro, 100 = blanco)
- *a**: componente rojo-verde (positivo = rojo)
- *b**: componente amarillo-azul (positivo = amarillo)

Los resultados de cada zona fueron analizados por separado, y cada valor fue expresado como el promedio de tres lecturas. Esta metodología permitió evaluar de forma objetiva la uniformidad del color interno, excluyendo la influencia del recubrimiento superficial de especias.

2.7.3.4. Determinación de la aceptabilidad

Se realizaron cortes finos de cada tratamiento y se llevó a cabo la cocción de cada trozo antes de realizar el análisis sensorial, utilizando un grill eléctrico. Se controló el tiempo de cocción (3 minutos) y la temperatura de cada trozo, siguiendo las recomendaciones del USDA. Es importante mencionar que no se agregó ningún tipo de aceite, ya que se realizó la cocción solo a vapor.

Se utilizó Escala Hedónica: donde se dio una puntuación al sabor, aroma, textura y apariencia (Tabla 11).

Tabla 11*Evaluación sensorial mediante la escala hedónica*

<i>Nivel</i>	<i>Calificación</i>
<i>Me gusta mucho</i>	7
<i>Me gusta moderadamente</i>	6
<i>Me gusta poco</i>	5
<i>Ni me gusta ni me disgusta</i>	4
<i>Me disgusta un poco</i>	3
<i>Me disgusta moderadamente</i>	2
<i>Me disgusta mucho.</i>	1

Nota. En la evaluación sensorial se utilizó la escala hedónica de 7 puntos.

2.7.4. Determinación del contenido de nitratos y nitritos en el polvo de apio

2.7.4.1. Nitratos presentes.

La detección de nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) en alimentos o soluciones puede realizarse de manera rápida mediante tiras reactivas colorimétricas, un método práctico, económico y fácil de usar que no requiere equipamiento de laboratorio especializado. Estas tiras están impregnadas con reactivos que reaccionan con los iones específicos. En el caso de los nitritos, comúnmente utilizan la reacción de Griess, donde se genera un color rosado-rojizo cuya intensidad es proporcional a la concentración presente (Shafeie Sarvestani, P., & Cols., 2024).

Este método es particularmente útil para controles rápidos de campo, verificación de residuos en alimentos como carnes curadas, vegetales o agua potable. Aunque no ofrece la misma precisión cuantitativa que métodos instrumentales como la cromatografía iónica o espectrofotometría UV, las tiras reactivas permiten una lectura semicuantitativa que puede ser suficiente para determinar si los niveles están dentro de los límites permisibles (Shafeie Sarvestani, P., & Cols., 2024).

2.7.4.2. Tratamientos.

2.7.4.2.1. Tratamiento control (TC)

Se aplicó sal de curado convencional a una dosis de 2.5 g/kg de carne, lo que equivale aproximadamente a 156 ppm de nitrito, considerando que la sal de curado contiene 6.25 % de NaNO_2 en su composición. Esta dosis se encuentra dentro del límite recomendado por el USDA (United States Department of Agriculture) para productos

cárnicos curados, y se utilizó sin la adición de apio ni achiote, con el fin de comparar la eficacia del curado natural respecto al método tradicional. En todos los tratamientos (Tabla 12), después del período de curado y secado, se aplicó de forma uniforme el recubrimiento especiado previamente descrito. Este paso tuvo como objetivo contribuir al perfil sensorial del producto, proteger la superficie contra la oxidación y la contaminación externa, y simular prácticas tradicionales de elaboración artesanal.

- **Tratamiento 01 (T1):** Se aplicó una mezcla compuesta por 90 % de polvo de apio y 10 % de polvo de achiote.
- **Tratamiento 02 (T2):** La mezcla contenía 85 % de apio y 15 % de achiote.
- **Tratamiento 03 (T3):** Se aplicó 75 % de apio y 25 % de achiote, siendo una de las formulaciones más ricas en achiote.
- **Tratamiento 04 (T4):** Se empleó 95 % de apio y 5 % de achiote, para evaluar la efectividad del curado con predominancia casi total del apio.
- **Tratamiento 05 (T5):** Repetición del tratamiento T2 (85 % apio - 15 % achiote).
- **Tratamiento 06 (T6):** Repetición del tratamiento T3 (75 % apio - 25 % achiote)
- **Tratamiento 07 (T7):** Incluyó una mezcla intermedia de 80 % apio y 20 % achiote.
- **Tratamiento 08 (T8):** Repetición del tratamiento T4 (95 % apio - 5 % achiote).

Tabla 12

Tratamientos

Tratamiento	Polvo de apio (%)	Polvo de achiote (%)
T1	90	10
T2	85	15
T3	75	25
T4	95	5
T5	85	15
T6	75	25
T7	80	20
T8	95	5

2.7.5. Evaluación estadística de los resultados

a) Diseño de mezclas

El diseño fue generado mediante el software Design-Expert 13, que permitió definir un conjunto de ocho tratamientos experimentales, más un tratamiento control (con sal de cura), utilizando combinaciones estratégicas de apio y achiote para cubrir el espacio experimental de interés. Algunos tratamientos fueron repetidos intencionalmente dentro del diseño para estimar el error experimental, mejorar el ajuste del modelo estadístico y verificar la consistencia de los datos.

Aunque en estudios similares se sugiere el uso de metodologías como el diseño de superficie de respuesta (RSM) para optimizar condiciones experimentales cuando las variables son independientes y continuas, en este trabajo se optó por el diseño de mezclas, ya que las variables estudiadas (apio y achiote) forman parte de una mezcla proporcional, donde el aumento de un componente implica necesariamente la reducción del otro, esto invalida el uso directo del RSM tradicional, que asume independencia entre factores.

Se consideraron los valores máximos y mínimos recomendados para cada ingrediente: el apio se evaluó entre un mínimo de 75 % y un máximo de 95 %, mientras que el achiote se probó en proporciones entre 5 % y 25 %.

Este diseño permitió modelar matemáticamente la relación entre las proporciones de la mezcla y las variables de respuesta (humedad, pH, capacidad de retención de agua y color), y posteriormente aplicar técnicas de optimización para identificar la mejor formulación natural que reemplace la sal de cura convencional.

Este modelo lineal es característico de los diseños de mezclas simples con dos componentes, donde no se asume independencia entre las variables, ya que el incremento en uno de los ingredientes implica necesariamente una reducción en el otro. Por este motivo, se optó por esta metodología en lugar de aplicar modelos de superficie de respuesta tradicionales, que están diseñados para factores independientes. En el diseño de mezclas, el modelo permite identificar con mayor precisión la combinación más adecuada de los ingredientes naturales utilizados como curantes.

Modelo Lineal de Mezcla

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$$

Donde:

- Y = Respuesta (humedad, pH, capacidad de retención de agua, color).
- X_1 = Proporción de apio en polvo.
- X_2 = Proporción de achiote en polvo.
- β_1 = Efecto del primer componente (apio).
- β_2 = Efecto del segundo componente (achiote).
- ϵ = Error aleatorio.

b) Optimización de mezclas

La técnica de procesamiento de datos para los resultados fisicoquímicos (humedad, pH y capacidad de retención de agua) y para los resultados del análisis instrumental (color) se utilizó un modelo de optimización de mezcla, con la finalidad de encontrar el mejor tratamiento resultante.

A continuación, se muestra el modelo cuadrático, que es comúnmente utilizado en la optimización de mezclas:

Modelo Cuadrático

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon$$

Donde:

- Y = Respuesta (humedad, pH, capacidad de retención de agua, color).
- X_1 = Proporción de apio en polvo.
- X_2 = Proporción de achiote en polvo.
- β_1 = Efecto del primer componente (apio).
- β_2 = Efecto del segundo componente (achiote).
- β_{12} = Efecto de la interacción entre el primer y segundo componente (apio y achiote).
- ϵ = Error aleatorio.

c) Modelo estadístico para la prueba sensorial (Wilcoxon)

Para validar si existían diferencias significativas entre las muestras evaluadas sensorialmente (tratamiento control TC vs tratamiento optimizado TF), se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para rangos con signo, adecuada para muestras

relacionadas y datos ordinales. Esta prueba compara los puntajes asignados por el mismo grupo de jueces a dos tratamientos, evaluando si las diferencias son estadísticamente distintas de cero. Se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

$$W = \sum_{i=1}^n R_i$$

Donde:

W = Estadístico de Wilcoxon

R_i = Rango asignado a la diferencia absoluta entre los pares de datos (excluyendo ceros).

N = Número de diferencias distintas de cero (pares válidos).

Las diferencias entre las puntuaciones otorgadas por cada panelista a las muestras fueron ordenadas en función de su valor absoluto, y se les asignaron rangos. Luego, se sumaron los rangos correspondientes a las diferencias positivas y negativas. La menor de estas dos sumas se considera el valor de W, que se compara con los valores críticos de la distribución de Wilcoxon (según tablas estándar) para N pares.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Obtención de la carne curada

Se elaboraron 8 tratamientos (Figura 9) considerando el diseño de mezclas y un tratamiento control (TC). Se realizó el proceso de fermentación del apio durante cuatro días (Anexo 7) en el cual se llevó a cabo la conversión de nitratos a nitritos, se determinó un contenido final de nitritos de 80 ppm, evidenciado en el Anexo 17.

Figura 9

Tratamiento Control (TC), T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 empaquetados al vacío



3.2. Evaluación con Design Expert 13

Se analizaron estadísticamente los resultados del día 1, en cuanto a los análisis fisicoquímicos e instrumentales.

3.2. Aspectos fisicoquímicos de la carne curada

- *Comportamiento del pH*

En la tabla 13, se muestran los resultados que se obtuvieron al medir el pH cada tres días, en el periodo de 20 días.

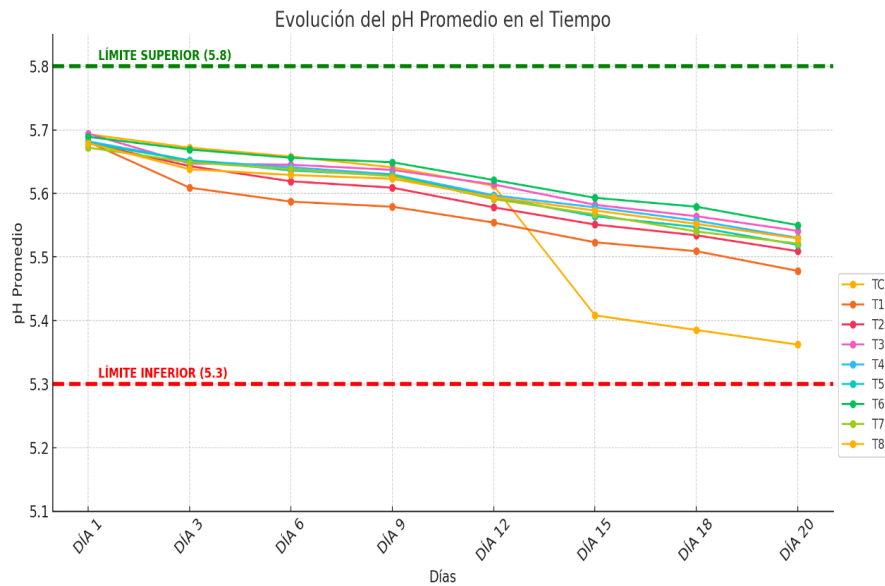
Tabla 13

Resultados de la medición del pH cada tres días, durante 20 días

	%Apio	%Achiote	DÍA 1	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15	DÍA 18	DÍA 20
TC	-	-	5,693	5,672	5,658	5,641	5,612	5,408	5,385	5,362
T1	90	10	5,681	5,609	5,587	5,579	5,554	5,523	5,509	5,478
T2	85	15	5,679	5,643	5,619	5,609	5,578	5,551	5,534	5,509
T3	75	25	5,694	5,647	5,645	5,637	5,614	5,582	5,564	5,541
T4	95	5	5,682	5,652	5,641	5,63	5,597	5,578	5,557	5,53
T5	85	15	5,679	5,652	5,636	5,628	5,594	5,564	5,547	5,519
T6	75	25	5,689	5,669	5,656	5,649	5,621	5,593	5,579	5,55
T7	80	20	5,672	5,649	5,638	5,627	5,591	5,567	5,54	5,521
T8	95	5	5,679	5,638	5,629	5,623	5,594	5,573	5,552	5,529

Figura 10

Evolución del pH promedio en el tiempo



En la Figura 10, se muestra la evolución del pH promedio de todos los tratamientos (TC y T1-T8) durante los 20 días de almacenamiento. Se observa que el Tratamiento Control (TC), tuvo un descenso de pH mayor a los demás tratamientos, sin embargo, todos los tratamientos están dentro del rango superior e inferior de pH recomendado para carnes curadas.

La ligera variación observada en el pH puede atribuirse a la formación de compuestos ácidos durante la fermentación y al efecto de las sales añadidas; este comportamiento es coherente con los mecanismos estructurales que gobiernan la capacidad de retención de agua en carne (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Los valores de pH registrados (5,3–5,8) se encuentran dentro del rango recomendado para carnes curadas (5,3–6,2), el cual asegura estabilidad microbiológica y adecuada capacidad de retención de agua (Toldrá, 2007; Sebranek & Bacus, 2007). Valores por debajo de 5,3 suelen asociarse a desnaturalización proteica y pérdida de jugosidad, mientras que valores por encima de 6,0 pueden favorecer el desarrollo microbiano no deseado (Puolanne & Peltonen, 2017). En este estudio, los tratamientos se mantuvieron en rango adecuado, lo que confirma la seguridad y estabilidad del producto.

Análisis de Varianza

Para analizar la influencia de los componentes en el pH, se utilizó un diseño de mezclas y se aplicó un modelo cúbico, el cual fue evaluado mediante ANOVA (Tabla

14). Cabe precisar que se analizaron los datos del día 1 en todos los casos.

Tabla 14

ANOVA pH para modelo cúbico

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón F	Valor-P	Significancia
Modelo	0,0003	3	0,0001	9,45	0,0274	S
⁽¹⁾ Mezcla Lineal	0,0001	1	0,0001	6,86	0,0588	NS
AB	0,0001	1	0,0001	12,07	0,0255	S
AB(A-B)	0,0001	1	0,0001	9,42	0,0373	S
Residual	0	4	9,92E-06			
Falta de ajuste	0	1	0	4	0,1393	NS
Error puro	0	3	5,67E-06			
Total	0,0003	7				

A: Achiote, B: Apio

R – cuadrada = 87.64%

R – cuadrada (ajustada por g.l) = 78.37%

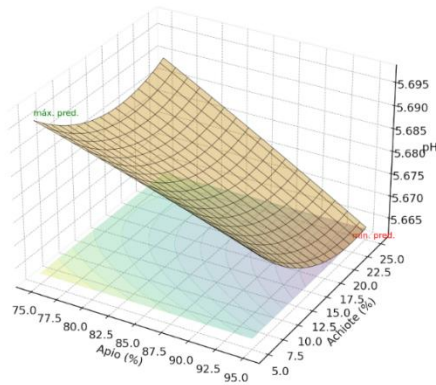
El modelo completo resultó significativo ($F = 9,45$; $p = 0,0274$), lo que indica que las combinaciones de achiote y apio ejercen un efecto estadísticamente relevante sobre el pH. Los efectos lineales de ambos componentes presentaron coeficientes muy similares (5,690 para achiote y 5,680 para apio), lo que evidencia que, de manera aislada, cada ingrediente tiene una influencia comparable en la respuesta. Sin embargo, el término lineal conjunto no alcanzó significancia estadística ($p = 0,0588$), lo que sugiere que el simple aporte individual de cada componente no explica de forma suficiente la variación observada en el pH.

Por el contrario, la interacción AB ($p = 0,0255$) y el término cúbico AB(A–B) ($p = 0,0373$) sí fueron significativos, lo que demuestra que la respuesta depende principalmente de la combinación entre los componentes. La significancia del término cúbico revela además que la relación entre los ingredientes y el pH no es lineal, es decir, que el cambio en el pH no sigue un patrón uniforme ni proporcional al variar las proporciones de achiote y apio. En consecuencia, pequeñas modificaciones en las proporciones pueden producir aumentos o disminuciones del pH de manera no predecible mediante un modelo lineal. Este comportamiento justifica el uso del modelo cúbico especial, ya que permite describir con mayor precisión las variaciones curvas de

la respuesta y captar la complejidad de las interacciones entre los componentes de la mezcla.

Figura 11

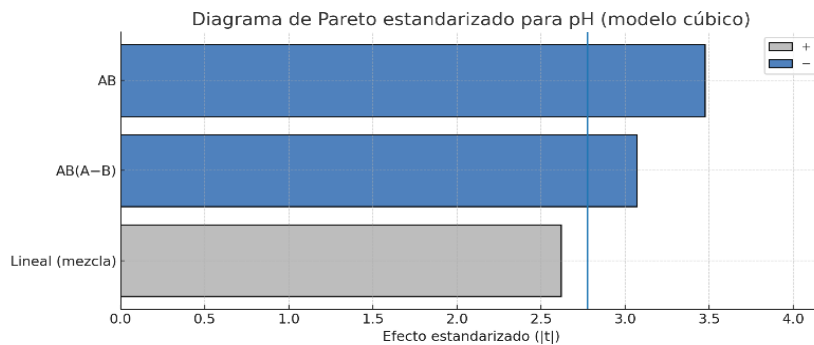
Superficie de respuesta pH – día 1



En la Figura 11 se observa que el pH del producto disminuye gradualmente conforme disminuye la proporción de achiote y aumenta la de apio, alcanzando su valor mínimo ($\approx 5,665$) en la zona de mayor concentración de achiote (25 %) y menor de apio (75 %). Esta tendencia descendente está asociada principalmente al efecto de la interacción entre los componentes, lo que genera una superficie de respuesta inclinada con ligera curvatura, concordante con los coeficientes significativos obtenidos en el modelo cúbico.

Figura 12

Diagrama de Pareto – Efectos sobre el pH



La Figura 12 muestra los efectos estandarizados de cada término del modelo cúbico sobre la respuesta del pH. Las barras representan la magnitud del efecto de cada componente o interacción, y la línea azul vertical indica el valor crítico de t ($\approx 2,776$) para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y 4 grados de libertad, obtenido a partir de la distribución t de Student. Los términos que superan este umbral (AB y

AB(A-B)) son estadísticamente significativos, lo que indica que afectan de manera relevante la variación del pH. Esto justifica el uso de un modelo cúbico para describir el comportamiento de la mezcla.

La disminución de pH observada en este estudio concuerda con lo descrito para embutidos curados/fermentados durante el almacenamiento. En un “salchichón” rebanado, Rubio *et al.* (2007) reportaron una reducción del pH a lo largo del almacenamiento, evaluando también el empaque al vacío.

De forma concordante, en salchichas fermentadas Ameer *et al.* (2022) observaron que el pH disminuyó conforme avanzó el almacenamiento en todos los tratamientos, incluido el lote envasado al vacío.

- **Humedad**

En la Tabla 15 se muestran los resultados que se obtuvieron al medir la humedad cada tres días, en el periodo de 20 días.

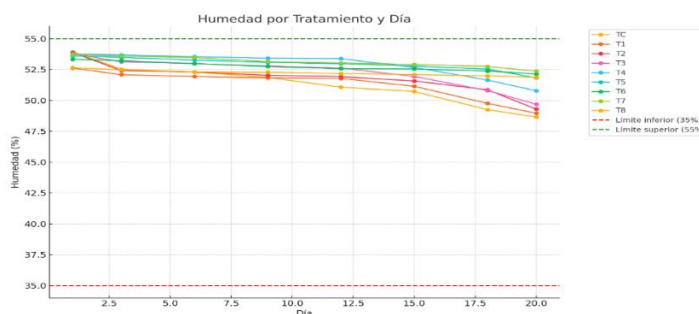
Tabla 15

Resultados humedad (%)

	%Apio	%Achiote	DÍA 1	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15	DÍA 18	DÍA 20
TC	-	-	53,94	52,52	52,3	51,86	51,07	50,72	49,25	48,65
T1	90	10	52,62	52,08	51,93	51,82	51,78	51,14	49,76	48,96
T2	85	15	53,88	52,41	52,3	52,03	51,92	51,57	50,29	49,29
T3	75	25	53,79	53,12	52,98	52,78	52,62	51,94	50,8	49,69
T4	95	5	53,76	53,68	53,54	53,42	53,38	52,67	51,65	50,78
T5	85	15	53,61	53,48	53,27	53,08	52,97	52,78	52,53	51,83
T6	75	25	53,33	53,21	52,98	52,74	52,57	52,54	52,38	52,14
T7	80	20	53,72	53,58	53,47	53,14	53,03	52,91	52,75	52,37
T8	95	5	52,65	52,47	52,31	52,28	52,18	52,09	51,98	51,87

Figura 13

Evolución de la humedad promedio en el tiempo



En la Figura 13 se observa que todos los tratamientos (incluyendo el control

TC) muestran una disminución progresiva de la humedad a lo largo de los 20 días, lo cual es esperable en productos que sufren deshidratación o pérdida de agua por almacenamiento o tratamiento. Todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango aceptable.

La humedad disminuyó por la presión osmótica de la sal y la pérdida de agua durante el secado, en concordancia con la influencia del pH y la fuerza iónica sobre la estabilidad proteica y la interacción proteína-agua (Lucarini et al., 2020; Puolanne & Peltonen, 2013).

En productos cárnicos curados, la humedad aceptable se encuentra en un rango de 35–55 %, suficiente para garantizar la estabilidad del producto sin comprometer su textura (Toldrá, 2007; Feiner, 2006). Valores inferiores a 35 % pueden ocasionar excesiva dureza y pérdida de jugosidad, mientras que valores superiores a 55 % incrementan la actividad de agua y favorecen el crecimiento microbiano (Lorenzo et al., 2012; Hospital et al., 2016). En este estudio, ningún tratamiento descendió por debajo del límite inferior (35 %), confirmando la estabilidad y aceptabilidad del producto.

Análisis de varianza

Para la variable humedad, se evaluaron modelos cúbico y cuadrático mediante análisis de varianza (Tabla 16). En ambos casos, el modelo general no resultó significativo ($p > 0,05$), y el valor de R^2 fue menor al 6 % (Tabla 17). Esto indica que la mezcla de apio y achiote no influyó de forma estadísticamente significativa sobre la humedad. Dada la baja variabilidad de los valores experimentales, es probable que la variable humedad esté determinada por otros factores no modelados.

Tabla 16

ANOVA humedad para modelo cuadrático

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p	Significancia
Modelo	0,1444	2	0,0722	0,1315	0,8797	NS
Mezcla Lineal	0,0123	1	0,0123	0,0225	0,8867	NS
AB	0,132	1	0,132	0,2406	0,6445	NS

Residual	2,744	5	0,5488			
Falta de ajuste	0,2581	2	0,1291	0,1557	0,8623	NS
Error puro	2,486	3	0,8286			
Total	2,889	7				

A: Achiote, B: Apio

Tabla 17

Comparación general de modelos

Modelo	p-valor	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	Adeq Precision	Significativo
Cúbico	0,9687	0,0551	-0,6536	-2,5019	0,6171	No
Cuadrático	0,8797	0,05	-0,33	-1,8338	0,7499	No

En la Tabla 17 se observa que ni el modelo cúbico ni el cuadrático resultaron significativos ($p > 0,05$), con bajos valores de R² y R² ajustado ($< 0,1$), lo que indica que la variabilidad de la respuesta no está explicada por la proporción de los componentes. Ninguno de los términos del modelo (lineal ni de interacción) presentó efectos significativos, lo cual sugiere que la humedad del producto se mantuvo relativamente estable a lo largo de las diferentes formulaciones. Por este motivo, esta variable no influyó en la optimización de la mezcla.

Esto sugiere que la ligera disminución de humedad responde más a factores externos como condiciones de almacenamiento, secado y características de la pieza de carne, que a la formulación evaluada.

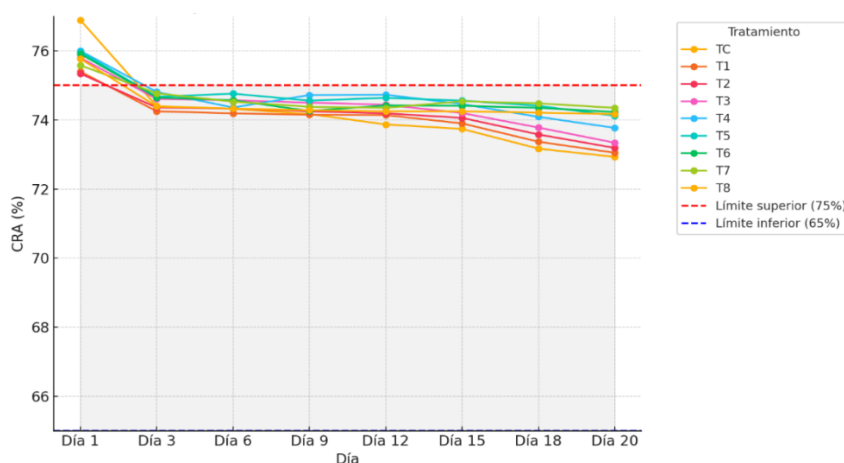
Estudios previos confirman esta tendencia: Lorenzo *et al.* (2014) reportaron descensos progresivos de humedad en embutidos curados durante el almacenamiento, mientras que Hospital *et al.* (2016) destacan la influencia de la temperatura y humedad relativa de la cámara. En este trabajo, todos los tratamientos se mantuvieron en el rango aceptable de 35–55 % (Toldrá, 2007; Feiner, 2006), lo que asegura estabilidad y calidad sensorial, en concordancia con Flores & Toldrá (2011), quienes señalan que valores por debajo de 35 % comprometen la jugosidad y textura.

- **Capacidad de retención de agua (CRA)**

En la Tabla 18 se muestran los resultados que se obtuvieron al calcular la CRA cada tres días, en el periodo de 20 días.

Tabla 18*Resultados Capacidad de retención de agua (CRA) (g H₂O retenida/100 g H₂O)*

		PROMEDIO CRA								
	%Apio	%Achiote	DÍA 1	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15	DÍA 18	DÍA 20
TC	-	-	76.89	74,4	74,32	74,17	73,87	73,74	73,17	72,93
T1	90	10	75,4	74,25	74,19	74,15	74,14	73,9	73,37	73,05
T2	85	15	75,34	74,36	74,33	74,23	74,19	74,06	73,58	73,19
T3	75	25	75,8	74,61	74,57	74,5	74,44	74,2	73,78	73,34
T4	95	5	76	74,81	74,76	74,72	74,7	74,46	74,09	73,77
T5	85	15	75,97	74,74	74,67	74,6	74,56	74,5	74,41	74,16
T6	75	25	75,91	74,65	74,57	74,48	74,42	74,41	74,35	74,27
T7	80	20	75,58	74,77	74,73	74,62	74,58	74,54	74,48	74,35
T8	95	5	75,77	74,39	74,33	74,32	74,28	74,25	74,21	74,17

Figura 14*Variación CRA durante el almacenamiento*

En la Figura 14 se incluyen líneas de referencia en 75 % (límite superior) y 65 % (límite inferior). La mayoría de los tratamientos se mantuvieron dentro del rango aceptable durante los 20 días, a excepción del tratamiento control (TC), que presentó una disminución más marcada.

La reducción de la CRA se relaciona con la proximidad al punto isoeléctrico y la consiguiente disminución de la repulsión entre cadenas, que limita la retención de agua (Lucarini et al., 2020; Puolanne & Peltonen, 2013)

Una CRA por debajo del rango deseable se traduce en mayor exudado (drip loss) durante almacenamiento y menor rendimiento en cocción, con pérdida de jugosidad; ello suele asociarse a pH cercanos al punto isoeléctrico y a cambios estructurales post-mortem que reducen los espacios de retención de agua en el

músculo (proteólisis/desalineación miofibrilar) (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Por el contrario, una CRA alta implica menor purga y mayores rendimientos, lo que suele mejorar la jugosidad; además, factores de formulación como salinidad e ionicidad y mantener el pH alejado del punto isoeléctrico favorecen la retención de agua (Puolanne & Peltonen, 2013).

La ligera disminución de la CRA durante el almacenamiento/proceso es consistente con lo reportado en res curada y en jamón curado. Lee y Kim (2023) señalan que la fragmentación de proteínas miofibrilares durante el envejecimiento reduce la CRA, favoreciendo la pérdida de humedad.

De forma concordante, en un modelo de jamón curado, Hong *et al.* (2010) muestran que la CRA es mayor al inicio y disminuye de forma progresiva.

Tabla 19

Análisis de Varianza CRA

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p	Significancia
Modelo	0,4237	4	0,1059	9,56	0,0469	S
⁽¹⁾ Mezcla Lineal	0,0143	1	0,0143	1,29	0,3382	NS
AB	0,339	1	0,339	30,59	0,0116	S
AB(A-B)	0,0633	1	0,0633	5,71	0,0968	NS
AB(A-B) ²	0,0975	1	0,0975	8,79	0,0593	NS
Error puro	0,0333	3	0,0111			
Total	0,4569	7				

A: Achiote, B: Apio

R – cuadrada = 92.72%

R – cuadrada (ajustada por g.l) = 83.02%

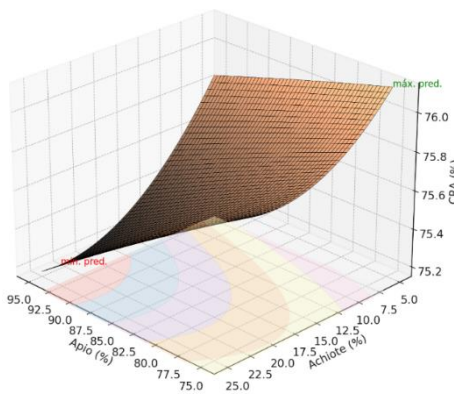
En el ANOVA (Tabla 19), el modelo general es significativo, lo que significa que el comportamiento de la CRA sí puede explicarse por la mezcla de achiote y apio. La interacción AB es significativa, lo cual indica que el efecto de un ingrediente depende del otro.

El término principal que contribuye a la significancia del modelo es la interacción lineal Achiote:Apio (AB), la cual resultó ser estadísticamente significativa (F=30.59, p=0.0116). Esto establece que el efecto del factor Achiote (A)

sobre la Capacidad de Retención de Agua depende directamente del nivel o proporción del factor Apio (B), y viceversa. La respuesta del CRA no es una simple suma de los efectos individuales de los componentes, sino que está impulsada por una relación sinérgica o antagónica entre ellos. Por lo tanto, el control de la CRA se logra mediante la combinación específica de las proporciones. Cabe mencionar que los términos de curvatura $AB(A-B)$ y $AB(A-B)^2$ resultaron no significativos, lo que implica que la relación es predominantemente lineal, pero con una fuerte interacción).

Figura 15

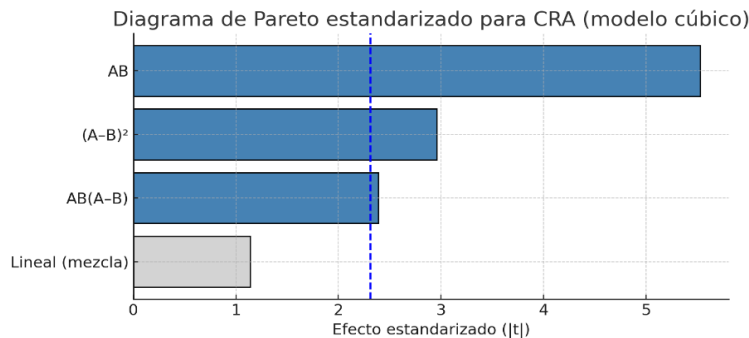
Superficie de respuesta – CRA día 1



Como se observa en la Figura 15, la superficie de respuesta de la capacidad de retención de agua (CRA) presenta una curvatura pronunciada, lo que indica que la relación entre los componentes de la mezcla no es lineal. Al incrementar la proporción de achiote en la formulación (de 5 % a 25 %) y disminuir la de apio (de 95 % a 75 %), la CRA aumenta progresivamente, alcanzando su valor máximo en la zona de mayor concentración de achiote. Por el contrario, cuando predomina el apio, la CRA tiende a disminuir. Esta tendencia es consistente con los coeficientes del modelo del ANOVA, en el que el término de interacción AB mostró efectos significativos, confirmando la influencia no lineal y la existencia de un punto óptimo de formulación.

Figura 16

Diagrama de Pareto – Efectos sobre CRA



En la Figura 16 muestra los efectos estandarizados de cada término del modelo cúbico sobre la respuesta de la CRA. Las barras representan la magnitud del efecto de cada componente o interacción, y la línea azul vertical indica el valor crítico de t ($\approx 2,31$) para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y 3 grados de libertad del error, obtenido a partir de la distribución t de Student.

Los términos que superan este umbral (AB, AB(A-B) y (A-B)²) se consideran estadísticamente significativos, lo que indica que influyen de manera importante en la capacidad de retención de agua del producto. La relevancia de estos efectos de interacción y no lineales confirma que la respuesta no sigue un comportamiento lineal simple, y justifica la aplicación de un modelo cuártico para describir de forma más precisa el comportamiento de la mezcla.

En la presente investigación se definió como criterio técnico de referencia un rango de CRA entre 70 % y 75 %, según Toldrá (2006), Fernández & Caballero (2001) y FAO (2016), y en los resultados propios del estudio.

La CRA observada en este estudio es coherente con lo descrito para carne de res curada. En dry-cured beef, Lee y Kim (2023) informan que la humedad disminuye a medida que avanza el proceso y describen cambios estructurales asociados al envejecimiento que impactan la retención de agua del músculo.

De forma concordante, en carne seca, Ramírez-Cárdenas (2015) reporta una CRA aproximada de 60–62 %, ligeramente menor a los valores altos de CRA que se obtuvieron en este estudio.

3.3. Determinación de color

- **Colorimetría**

En la Figura 17, se muestran los resultados de las mediciones efectuadas con el colorímetro de CieLab, para los valores L, a y b.

Para evaluar el color de la carne curada de manera objetiva, se utilizó el sistema CIELAB (L, a, b*) **, desarrollado por la Commission Internationale de l'Éclairage. Este modelo permite describir el color en un espacio tridimensional basado en tres coordenadas.

Los rangos mostrados en la Tabla 6 corresponden a valores típicos reportados para productos cárnicos curados en general (jamón, embutidos, lomos secos, etc.). Debido a la escasa disponibilidad de estudios específicos sobre carne cruda curada de res, estos datos se consideran como referencias orientativas, no como límites estrictos.

Figura 17

Resultados promedio de colorimetría para todos los tratamientos.

PROMEDIO COLORIMETRÍA																									
		DÍA 1			DÍA 3			DÍA 6			DÍA 9			DÍA 12			DÍA 15			DÍA 18			DÍA 20		
		L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
TC		19,41	47,26	8,92	18,6	45,32	6,04	21,456	53,19	6,42	20,02	35,95	9,78	14,89	55,83	4,66	20,3	46,4	6,99	16,22	43,87	6,61	21,21	48,44	7,68
		21,84	32,25	6,73	31,4	22,23	8,53	21,53	52,92	6,52	20,08	35,95	9,78	18,15	52,28	6,45	20,8	45,7	5,61	20,22	37,97	7,23	20,59	47,87	7,14
T1		28,01	80,58	6,65	18,53	98,25	3,94	19,4	83,62	4,82	22,74	78,22	6,17	23,94	78,72	5,76	27,5	69,2	6,3	24,65	77,7	6,02	20,82	69,51	5,31
		22,56	76,9	4,89	18,23	66,41	4,25	23,49	80,2	5,77	22,62	59,12	5,89	22,74	49,88	9,12	22,6	60,4	4,63	20,62	70,62	4,97	20,82	67,56	5,23
T2		28,1	75,17	6,12	21,78	86,71	5,82	23,55	74,54	5,51	19,18	108,3	6,65	17,69	87,56	5,86	23,7	80,5	7,86	23,49	73,47	5,84	23,94	73,79	7,49
		28,1	75,1	6,12	16,05	78,1	4,08	22,26	61,46	5,12	20,62	76,51	7,11	26,84	53,94	7,93	23,6	80,3	7,51	22,14	60	8,26	22,92	72,34	6,7
T3		26,5	90,42	6,46	25,39	89,08	6,55	19,47	89,8	5,2	26,2	84,72	7,16	25,54	87,16	5,13	19,1	86,1	9,04	19,18	81,53	5,53	22,81	82,96	6,12
		26,15	86,12	7,26	20,16	88,14	6,13	28,15	81,14	7,65	30,27	77,31	8,07	20,89	84,9	5,75	20	72	4,56	19,68	76,79	5,39	21,41	66,74	7,24
T4		25,75	68,32	6,69	23,38	75,93	9,15	18,45	79,67	7,28	22,92	77,23	7,64	27,22	78,41	5,29	21,3	75,5	5,55	16,22	83,78	5,36	20,82	81,74	6,15
		24,92	45,62	6,47	24,76	70,55	6,68	20,09	77,59	6,82	23,72	61,44	5,24	22,74	67,13	5,27	22,2	54	5,39	16,05	76,37	5,17	20,69	61,09	5,25
T5		27,5	84,72	7,82	26,3	79,45	10,17	22,02	97,06	5,23	23,94	95,06	5,41	20,16	84,83	5,17	14,2	73,8	5,36	17,29	86,24	5,39	21,02	86,69	7,7
		25,02	83,54	6,38	21,65	75,93	6,25	28,01	84,89	6,07	20,49	83,62	4,99	19,68	66,98	4,95	17,3	57,3	3,12	21,21	53,26	9,58	21,84	72,37	6,73
T6		23,49	93,25	9,59	18,23	81,46	5,98	19,4	88,46	5,71	19,68	81,8	6,38	25,28	76,64	6,1	23,3	88,7	6,87	19,32	80,76	4,08	21,78	89,93	6,22
		24,97	87,61	6,36	23,27	78,46	6,77	18,89	68,55	6,35	19,61	66,45	6,32	27,96	50,02	8,31	22,9	67,5	7,93	20,22	77,74	4,86	20,16	68,57	8,24
T7		20,56	76,43	6,21	19,04	87,07	8,71	22,08	75,36	5,26	18,89	79,95	4,31	18,82	89,77	5,28	21,8	84,7	5,51	20,56	85,46	5,81	20,29	80,36	6,36
		20,62	63,31	20,09	20,09	69,26	4,63	16,05	72,81	4,95	18,38	72,64	4,7	19,88	85,78	5,83	20,6	69,5	8,18	21,48	66,35	7,46	19,88	64,84	5,75
T8		25,23	91,46	5,68	22,56	74,68	4,6	19,42	78,45	6,45	25,44	73,77	6,57	26,64	77,8	7,4	28,2	83,3	7,1	25,39	83,37	5,05	23,66	81,61	5,49
		25,85	90,35	5,78	26,45	70,8	7,65	21,53	76,21	6,79	20,09	64,57	5,75	21,29	63,09	5,7	24,5	76,7	6,22	24,49	67,94	5,2	21,08	62,79	5,31

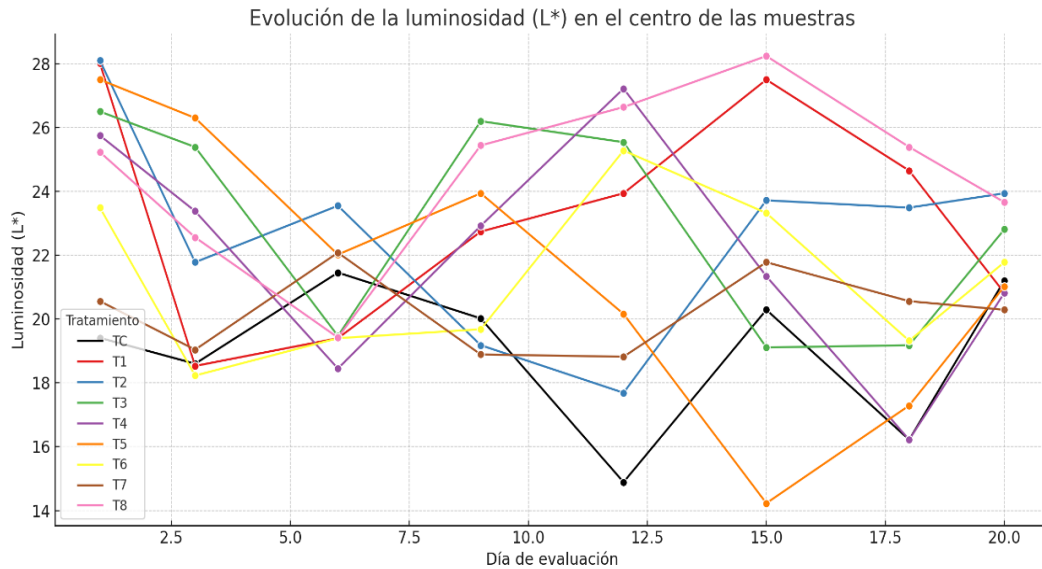
Todos los tratamientos se analizaron en cuanto a colorimetría en la parte central de la pieza de carne como en el contorno.

En la Figura 17, estas dos mediciones se observan diferenciadas con dos colores: Rojo y Guindo, para la medición central y la medición del contorno, respectivamente.

- **Luminosidad (L^*)**

Figura 18

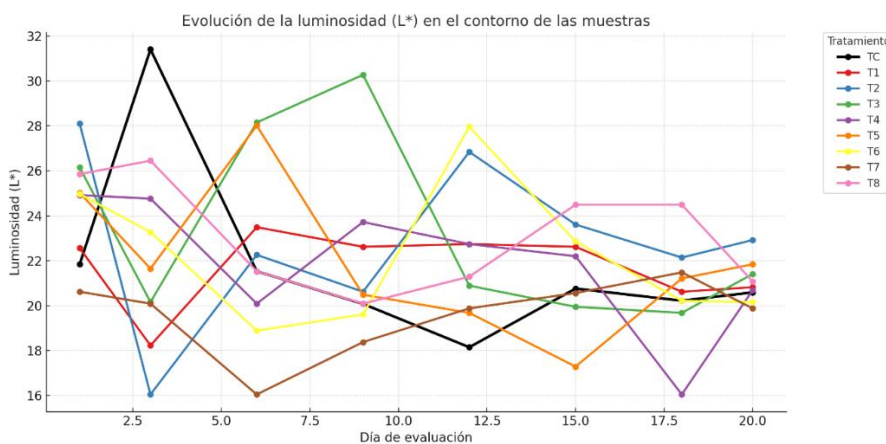
Evolución de la luminosidad (L^) en el centro de las muestras*



El tratamiento T8 presenta los valores más altos de luminosidad hacia el día 15, lo que indica una carne más clara en el centro (Figura 18). Por el contrario, el tratamiento TC (control) mantiene los valores más bajos de L^* , indicando una carne más oscura, como es esperable por el uso exclusivo de sal de cura.

Figura 19

Evolución de la Luminosidad en el contorno (L^) de las muestras*



En la Figura 19 se observa que el contorno de TC mostró un pico de luminosidad en el día 3, probablemente por efecto superficial de la sal curante,

seguido de una caída. T3 y T5 exhibieron los valores de luminosidad más altos hacia los días intermedios (6–9), pero con oscilaciones marcadas.

En general, los tratamientos naturales (T1–T8) mantienen niveles de luminosidad más elevados que el control en muchos momentos del proceso.

Tabla 20

*Análisis de varianza L**

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p	Significancia
Modelo	41,63	4	10,41	6,44	0,0789	NS
⁽¹⁾ Mezcla Lineal	4,94	1	4,94	3,06	0,1786	NS
AB	8,72	1	8,72	5,4	0,1027	NS
AB(A-B)	23,06	1	23,06	14,28	0,0325	S
AB(A-B) ²	10,38	1	10,38	6,43	0,0851	NS
Error puro	4,85	3	1,62			
Total	46,48	7				

A: Achiote, B: Apio

R – cuadrada = 89.57%

R – cuadrada (ajustada por g.l) = 75.67%

El parámetro L*, que representa la luminosidad de la carne curada, fue evaluado mediante un modelo cuártico en el software Design-Expert 13 (Figura 20). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el modelo ajustado no fue estadísticamente significativo ($p = 0.0789$), aunque algunos términos individuales mostraron significancia, sin que esto se traduzca en un efecto global, por lo que no se puede afirmar con un 95 % de confianza que las variaciones observadas se deban al efecto de las proporciones de achiote y apio. Se obtuvo un coeficiente de determinación aceptable ($R^2 = 0.8957$), lo cual indica un buen nivel de ajuste entre los valores observados y predichos. Se observa que al incrementar la proporción de achiote y disminuir la de apio, los valores de L* se mantienen relativamente estables alrededor de 25 en la escala CIELAB, lo que corresponde a una tonalidad oscura característica de productos cárnicos curados (Honikel, (2008). De forma similar, cuando predomina el apio, la luminosidad no presenta cambios significativos. No obstante, cuando ambos componentes se encuentran en proporciones intermedias, se

evidencia una disminución marcada de la luminosidad, atribuida a los efectos negativos de interacción (AB y términos superiores), lo que refleja un comportamiento no lineal. En consecuencia, la L^* es más estable en los extremos de la mezcla y tiende a reducirse cuando los componentes se combinan en proporciones similares.

A pesar de la no significancia global del modelo, al analizar los términos individuales, se encontró que el término de curvatura que representa la interacción Achiote:Apio AB(A-B) arrojó un valor $p=0.0325$. Este valor, cercano al umbral de significancia, se interpreta como una fuerte tendencia o indicio de que existe una relación no lineal entre las proporciones de los componentes sobre L^* . Dicha tendencia sugiere que el efecto del Achiote en la luminosidad no es constante, sino que puede estar modulado por la proporción de Apio. Esta observación es respaldada además por el alto valor de $R^2=75.67\%$, indicando que, aunque no significativo estadísticamente, el modelo sí captura gran parte de la variabilidad observada.

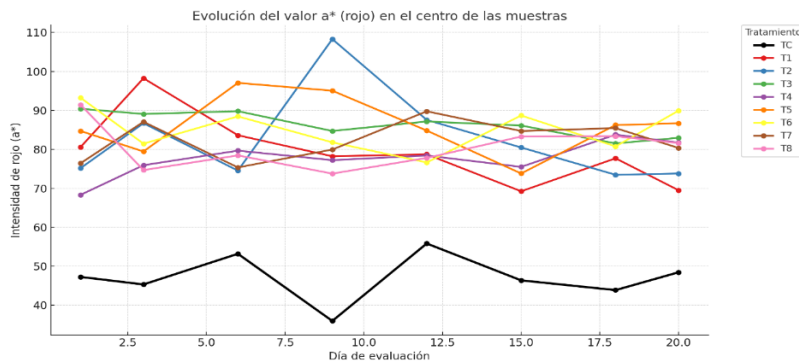
L^* muestra pequeñas oscilaciones a lo largo de los 20 días, lo que es congruente con la dinámica de los pigmentos de la carne: una breve exposición al oxígeno durante la manipulación puede “avivar” la superficie (mayor oximioglobina) y elevar L^* ; con el paso del tiempo, la oxidación hacia metamioglobina y el oscurecimiento superficial tienden a reducir L^* . Un patrón de este tipo fue descrito en pastourma, donde Kritsi *et al.* (2024) midieron L^* , a^* , b^* en los días 1, 4, 8, 11, 14 y 16 y observaron fluctuaciones significativas de L^* , con descenso marcado en muestras de búfalo y oscilaciones en res y cordero, atribuidas a la conversión de pigmentos, la deshidratación superficial y la oxidación lipídica.

En cecina de res, Rubio *et al.* (2006) siguieron el color CIELAB durante el almacenamiento de rebanadas y reportaron L^* en un rango $\approx 20-34$, sin cambios significativos entre empaque al vacío y con gas, teniendo pequeñas variaciones alrededor de una luminosidad baja típica del producto. Nuestros valores ($\approx 25-28$) caen dentro de ese rango y sus oscilaciones leves son coherentes con la heterogeneidad superficial, el bloqueo/desbloqueo de agua en la corteza y pequeñas diferencias de “bloom”(exposición al oxígeno de la carne que está empacada al vacío) en el momento de la medición (Rubio *et al.*, 2006).

- **Rojo – verde (a^*).**

Figura 20

Evolución del valor a^ (rojo) en el centro de las muestras*



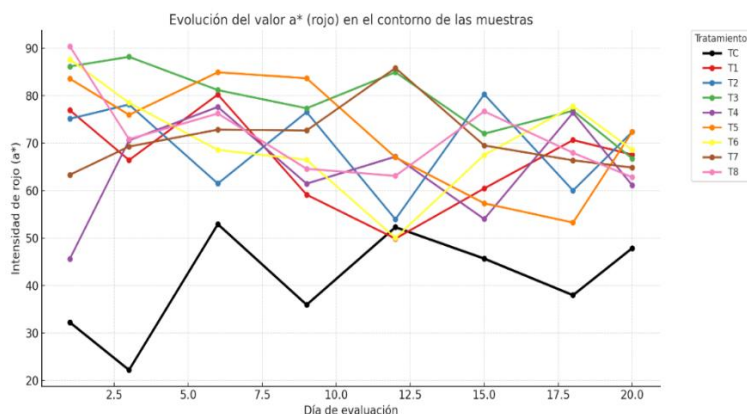
La variable a^* representa la intensidad de tonalidades rojas en la carne curada, evaluada en el centro de las piezas durante 20 días. En la Figura 20 se observa que todos los tratamientos experimentales mantuvieron valores de a^* superiores respecto al tratamiento control (TC), lo cual puede asociarse al efecto combinado del proceso de curado natural y la evolución de compuestos endógenos de la carne durante el almacenamiento.

El tratamiento TC, formulado únicamente con sal de cura, presentó valores considerablemente más bajos de a^* a lo largo del tiempo, lo que indica una menor estabilización del color interno de la carne en comparación con los tratamientos naturales.

Cabe señalar que, aunque en los tratamientos experimentales se utilizó achiote en la formulación, este ingrediente actúa principalmente sobre la superficie, por lo que su influencia en el centro de la carne es mínima. Por tanto, las diferencias observadas en a^* se atribuyen más a la acción curante del apio (rico en nitratos) y al efecto antimicrobiano del achiote, que permite una mejor preservación de los pigmentos naturales propios de la carne.

Figura 21

Evolución del valor de a (rojo) en el contorno de las muestras*



El valor a* fue notablemente mayor en los tratamientos experimentales respecto al tratamiento control (TC) (Figura 21). Esta diferencia indica que el uso combinado de apio y achiote genera condiciones favorables para la estabilización del color externo de la carne curada.

Tabla 21

*Análisis de varianza a**

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p	Significancia
Modelo	105,75	1	105,75	1,4	0,2814	NS
⁽¹⁾ Mezcla Lineal	105,75	1	105,75	1,4	0,2814	NS
Residual	453,06	6	75,51			NS
Falta de ajuste	135,73	3	45,24	0,4277	0,7482	
Error puro	317,34	3	105,78			
Total	558,82	7				

R – cuadrada = 18.92%

R – cuadrada (ajustada por g.l) = 5.41%

Para el parámetro colorimétrico a*, que indica la intensidad de color en el eje rojo-verde, se aplicó un modelo lineal de mezclas mediante el software Design-Expert 13 (Tabla 21). El análisis de varianza (ANOVA) reveló que el modelo no fue

significativo ($p = 0.2814$), lo cual indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre las proporciones de polvo de achiote y apio y la variación en los valores de a^* .

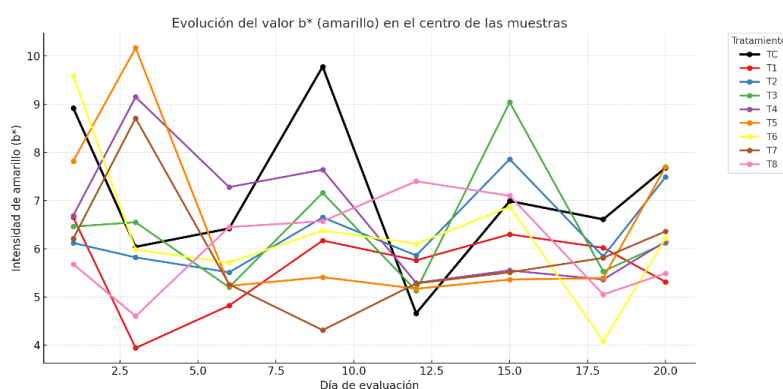
En vista de estos resultados, el parámetro a^* no fue incluido en la etapa de optimización. De igual forma, se representó gráficamente su comportamiento durante los días de almacenamiento, a fin de observar tendencias generales y verificar que los valores se mantuvieran dentro de un rango visualmente aceptable para productos cárnicos curados.

El parámetro a^* presentó oscilaciones leves cada 3 días (pequeñas subidas y bajadas). Este patrón es coherente con la dinámica de la mioglobina en la superficie: tras la exposición al aire durante la manipulación, puede producirse un “avivamiento” transitorio (más oximioglobina) que eleva a^* , mientras que con el tiempo la oxidación del pigmento hacia metamioglobina causa pérdida de rojez y descenso de a^* . En un producto curado similar, pastourma, Kritsi *et al.* (2024) midieron L^* , a^* , b^* en días 1, 4, 8, 11, 14 y 16 y observaron disminuciones de a^* especialmente hacia los días 8–11, atribuidas a la conversión de mioglobina a metamioglobina y a deshidratación superficial-oxidación lipídica.

- **Amarillo - azul (b^*)**

Figura 22

Evolución del color b^ (amarillo) en el centro de las muestras*

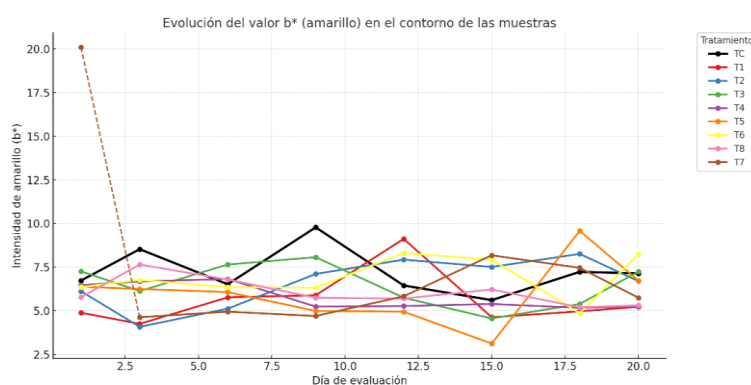


En cuanto al parámetro b^* (intensidad de amarillo), los valores obtenidos en el centro de las muestras no mostraron una tendencia marcada entre tratamientos ni a lo largo del tiempo (Figura 22). Si bien el tratamiento control (TC) presentó valores

ligeramente superiores en los primeros días, los tratamientos experimentales mantuvieron niveles similares o algo menores. Esta relativa estabilidad sugiere que el componente amarillo del color interno de la carne no se ve significativamente afectado por el sistema de curado natural empleado, siendo más influenciado por otros factores como oxidación interna o distribución de humedad, y no directamente por los ingredientes aplicados en superficie.

Figura 23

Evolución del color b (amarillo) en el contorno de las muestras*



La Figura 23 muestra que, en el contorno de las muestras, los valores de b* (amarillo) fueron ligeramente superiores en algunos tratamientos experimentales como T5 y T6, aunque sin una tendencia definida a lo largo del tiempo. El tratamiento T7 presentó un valor atípico en el día 1 para el parámetro b* (20.09), el cual fue representado mediante línea punteada en la gráfica para no distorsionar la tendencia general, este valor no se repitió en días posteriores y se considera como una variación puntual del proceso, posiblemente asociada a factores superficiales o instrumentales.

Tabla 22

*Análisis de varianza b**

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p	Significancia
Modelo	2,66	1	2,66	1,92	0,2147	NS
⁽¹⁾ Mezcla lineal	2,66	1	2,66	1,92	0,2147	NS

Residual	8,3	6	1,38			NS
Falta de ajuste	1,44	3	0,4806	0,2104	0,8836	
Error puro	6,85	3	2,28			
Total	10,96	7				

El análisis de varianza (Tabla 22) mostró que el modelo aplicado para el parámetro b^* no fue significativo ($p = 0.2147$), lo que indica que las variaciones en la proporción de polvo de apio y achiote no generaron cambios relevantes sobre esta componente del color. En consecuencia, el parámetro b^* no fue incluido en la etapa de optimización, ya que no mostró una respuesta influenciada por los tratamientos.

Según Toldrá (2007), el uso exclusivo de sal puede conducir a tonalidades opacas u oscuras debido a procesos de oxidación y desnaturalización proteica que reducen la reflectancia de la superficie, lo que se demostró en la evaluación del tratamiento control (TC), siendo este tratamiento notablemente opaco y oscuro comparado con los tratamientos experimentales.

Sebranek y Bacus (2007) mencionan que, aunque la sal de cura aporta nitritos, también puede favorecer el oscurecimiento durante el secado por la formación de pigmentos como la metamioglobina. Como alternativa, el uso de nitritos naturales provenientes del apio permite generar pigmentos curados sin intensificar la oxidación (Sindelar & Houser, 2009). Los ingredientes como el polvo de achiote aportan carotenoides y compuestos antioxidantes que protegen la estructura muscular frente al deterioro oxidativo (Tran Van Cuong & Chin, 2016).

El parámetro b^* muestra pequeñas variaciones cada 3 días. Algo parecido se observó en un producto curado similar (pastourma): Kritsi *et al.* (2024) midieron L^* , a^* , b^* en los días 1, 4, 8, 11, 14 y 16 y encontraron que b^* tiende a disminuir con el tiempo, con la caída más clara alrededor de los días 8–11. Los autores explican estos cambios por ligera pérdida de humedad en la superficie y procesos de oxidación propios de la refrigeración, y señalan que la materia prima (res, búfalo o cordero) también influye en el nivel de b^* . Este comportamiento respalda las pequeñas subidas y bajadas que se observan entre nuestras mediciones y la tendencia general a una menor amarillez conforme avanza el almacenamiento.

3.4. Análisis microbiológicos

Se realizó el análisis microbiológico de todos los tratamientos experimentales, incluyendo el tratamiento control y los ocho tratamientos con diferentes proporciones de polvo de apio y achiote. Los resultados, presentados en el Anexo 14, evidencian que ninguno de los tratamientos superó los límites establecidos por la normativa sanitaria peruana (MINSA, 2008) para productos cárnicos curados crudos.

En todos los casos, el recuento del microorganismo patógeno *Clostridium perfringens* se mantuvo dentro de los límites aceptables, obteniéndose resultados negativos tanto en el día 1 como en el día 10 para todos los tratamientos experimentales. Esto evidencia una eficaz inhibición microbiana desde las etapas iniciales del proceso, atribuible a la combinación de salado, secado y recubrimiento con ingredientes naturales aplicada durante el curado.

En nuestra investigación, el contenido de nitritos en el polvo de apio después de la fermentación fue de 80 ppm, lo que controló el crecimiento microbiano. Los recuentos bajos y la ausencia de *C. perfringens* observados en este estudio son coherentes con trabajos que demuestran el efecto inhibidor del nitrito.

En un estudio de enfriamiento post-térmico de un producto cárnico listo para consumo, King *et al.* (2015) comprobaron que 100 ppm de nitrito procedente de fuentes naturales o purificadas fueron equivalentes para inhibir el crecimiento de *Clostridium perfringens*, respaldando que el nitrito “de origen vegetal” bien formulado aporta la misma protección frente a este microorganismo típico de carnes curadas.

En cuanto a apariencia visual, los tratamientos T4 y T8 mostraron una ligera superioridad frente al resto, aunque dicha diferencia fue sutil; por este motivo, en el día 20 se seleccionó el tratamiento T8 (equivalente en formulación al T4) por haber presentado mejor apariencia superficial, junto con el tratamiento control (TC), para una evaluación microbiológica más amplia. En esta etapa se analizaron *Aerobios mesófilos*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*,

Salmonella spp., *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Los resultados fueron negativos en ambos casos (Tabla 23), lo que respalda el efecto curante de la mezcla de polvo de achiote y polvo de apio, como también la seguridad microbiológica del producto curado incluso antes del proceso de optimización.

Tabla 23

Resultados de análisis microbiológicos día 20

Parámetro	Unidad	LCM	T8	TC
<i>Aerobios mesófilos</i>	UFC/g	10	< 10	< 10
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10	< 10
<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	N.A.	Ausencia	Ausencia
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i> spp.	A-P/25g	N.A.	Ausencia	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i> (coagulasa +)	UFC/g	10	< 10	< 10

Dado que no se encontraron diferencias microbiológicas significativas entre tratamientos, y todos los resultados fueron conformes, estas variables no fueron incluidas en el análisis estadístico ni en la etapa de optimización.

3.5. Optimización de la mezcla

Ya demostrado el efecto curante de la mezcla de polvo de apio y polvo de achiote, se realizó la optimización de la mezcla. Para determinar la combinación óptima de polvo de achiote y polvo de apio en la formulación de carne curada, se aplicó un proceso de optimización de mezclas en el software Design-Expert 13, posterior al análisis estadístico de los resultados obtenidos en el diseño de mezclas tipo simplex.

Las variables seleccionadas como criterios de optimización activa fueron la capacidad de retención de agua (CRA), la cual presentó un modelo estadísticamente significativo con buen ajuste predictivo y el pH fue incluido como criterio de restricción bajo el objetivo "in range", con un límite inferior de

5.3 y superior de 5.8, conforme a lo establecido para productos cárnicos curados (Toldrá, 2007).

Las variables L^* , a^* , b^* y humedad fueron excluidas de la optimización activa, debido a que sus modelos no fueron significativos, pero sí se consideraron para su evaluación en la etapa de validación experimental.

- ***Resultados de la optimización***

Una vez definidos los criterios de respuesta para la optimización de la mezcla, el software Design-Expert 13 identificó tres posibles soluciones que cumplieran con los objetivos establecidos. La mejor solución fue seleccionada por su mayor deseabilidad (0.870) y correspondió a una formulación compuesta por 24.57 % de polvo de achiote y 75.43 % de polvo de apio. Esta solución maximizó el valor de CRA (capacidad de retención de agua), mientras mantuvo los valores de pH y humedad dentro de los rangos establecidos para productos cárnicos curados. Las variables L^* , a^* , b^* y humedad, al no ser significativas en el análisis de varianza, no influyeron directamente en la optimización activa, pero se monitorearon durante la validación experimental para comprobar su estabilidad.

- ***Validación experimental de la formulación optimizada***

Una vez determinada la combinación óptima de los ingredientes, conformada por 24.57 % de polvo de achiote y 75.43 % de polvo de apio, se procedió a elaborar una muestra experimental con dicha formulación y evaluar sus propiedades fisicoquímicas e instrumentales, a fin de validar la confiabilidad del modelo propuesto por el software Design-Expert 13.

Para ello, se elaboraron tres réplicas experimentales bajo las mismas condiciones de procesamiento, y se midieron los valores de las variables respuestas: L^* , a^* , b^* , capacidad de retención de agua (CRA), pH y humedad, las cuales se compararon con los valores predichos por el modelo, utilizando un intervalo de predicción (Prediction Interval, PI) al 95 % de confianza.

Los resultados mostraron una buena concordancia entre los valores predichos y los valores experimentales, lo que indica una adecuada capacidad

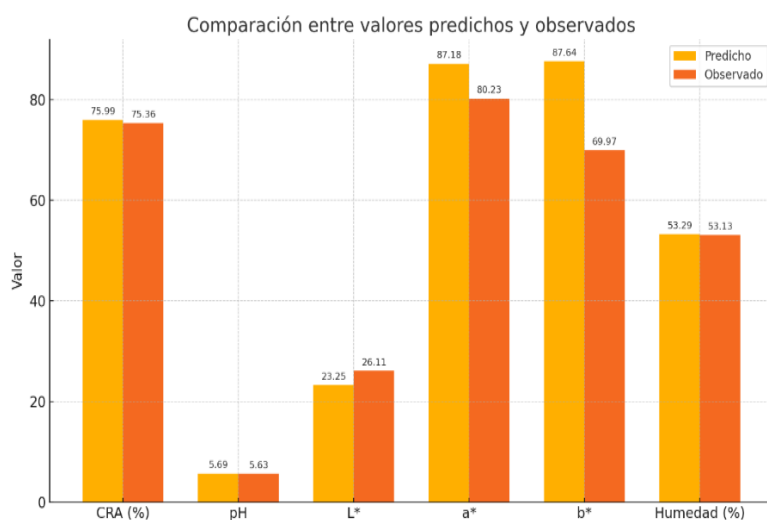
predictiva del modelo en la mayoría de los casos. Las variables L^* , a^* , b^* , CRA y humedad presentaron medias experimentales que se ubicaron dentro del intervalo de predicción. En cuanto a la variable CRA mostró un valor experimental promedio de 75.36 %, muy próximo al valor estimado por el modelo (75.9997 %).

Respecto al valor experimental del pH (5.63) se ubicó levemente fuera del límite inferior del intervalo de predicción (5.6811), aunque se mantuvo dentro del rango establecido para productos cárnicos curados (5.3–5.8), por lo que no representa un riesgo ni un desvío relevante desde el punto de vista tecnológico o microbiológico.

Los resultados (Figura 28) respaldaron la validez del modelo de optimización y confirmaron que la formulación seleccionada permite obtener un producto con características fisicoquímicas adecuadas y coherentes con los objetivos propuestos.

Figura 24

Comparación entre los valores predichos y observados para los parámetros fisicoquímicos y colorimétricos de la formulación optimizada (24.57 % achote y 75.43 % apio).



3.6. Comparación estadística entre la muestra optimizada (TF) y el tratamiento control (TC)

Con el objetivo de validar estadísticamente la formulación óptima obtenida a través del diseño de mezclas (24,5658 % de polvo de achiote y 75,4342 % de polvo de apio), se realizó una comparación directa con el tratamiento control (TC), el cual contenía únicamente sal curante. Esta comparación incluyó parámetros fisicoquímicos (pH, humedad y capacidad de retención de agua - CRA) y colorimétricos (L^* , a^* , b^*), medidos al día 1 de curado, con el fin de verificar si existían diferencias significativas.

Para cada variable, se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA), empleando tres réplicas por tratamiento. Debido a que los supuestos de normalidad no se cumplieron completamente en algunos casos, se aplicó además la prueba no paramétrica de Mann-Whitney como método complementario (Figura 24).

- **Parámetros fisicoquímicos**

Tabla 24

ANOVA y Mann-Whitney de pH, CRA y Humedad

Parámetro	Valor F	Valor p (ANOVA)	Interpretación (ANOVA)	Estadístico U (Mann-Whitney)	Valor p (MW)	Interpretación (MW)
CRA	34.5851	0.0042	Diferencia significativa	9.0	0.1000	No significativo
pH	119.9336	0.0004	Diferencia significativa	0.0	0.0765	No significativo
Humedad	9.7964	0.0352	Diferencia significativa	0.0	0.1000	No significativo

pH

El pH es un parámetro crítico en la elaboración de productos cárnicos curados, ya que influye directamente en la seguridad microbiológica, la estabilidad del color y las propiedades tecnológicas del producto final. Un pH más ácido favorece la formación de nitrosilmioglobina, el pigmento responsable del color rojo característico, y potencia la acción antimicrobiana del nitrito, limitando el crecimiento de patógenos como *Clostridium botulinum* (Honikel, 2008).

Además, el pH influye en la capacidad de retención de agua (CRA), afectando directamente la jugosidad y textura final del producto (Pegg & Shahidi,

2000).

El tratamiento optimizado presentó un promedio de pH de 5,63, significativamente inferior al del control (5,693), según el análisis de varianza ($p = 0,0004$). Este menor valor de pH es favorable desde la perspectiva microbiológica, ya que valores entre 5,3 y 5,8 son reconocidos como óptimos para garantizar la estabilidad y seguridad de carnes curadas (Toldrá, 2007).

Además, la prueba de Mann-Whitney corroboró que no hay una diferencia relevante entre tratamientos ($p = 0,0765$), lo que apoya la consistencia de los resultados.

Una posible explicación el valor del pH del tratamiento optimizado es la incorporación de polvo de apio, un conocido ingrediente rico en nitratos naturales, que durante el curado pueden ser reducidos a nitritos por acción bacteriana, lo cual genera una leve acidificación del producto final (Sindelar *et al.*, 2007; Alahakoon *et al.*, 2015).

Por otro lado, los compuestos bioactivos del achiote (*Bixa orellana*), como flavonoides y ácidos fenólicos, han demostrado en estudios *in vitro* actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Estos efectos podrían contribuir indirectamente a mantener un pH más bajo en el producto curado, al inhibir la proliferación microbiana que podría elevar el pH (Medina-Flores *et al.*, 2016)

La adición de ingredientes naturales como el polvo de apio ha sido ampliamente estudiado como fuente alternativa de nitratos, estos pueden ser reducidos a nitritos por bacterias nitrato-reductoras durante la etapa de curado, generando compuestos que no solo ejercen acción conservadora, sino que además contribuyen a una ligera acidificación del medio (Sindelar *et al.*, 2007; Alahakoon *et al.*, 2015).

Capacidad de Retención de Agua (CRA)

El tratamiento optimizado mostró un promedio de CRA de 75,37 %, superior al control (74,68 %). Aunque el ANOVA señaló diferencia significativa ($p = 0,0042$), la prueba de Mann-Whitney ($p = 0,10$) sugiere que podría tratarse más bien de una tendencia estadística en lugar de una diferencia contundente.

Aun así, el valor optimizado se encuentra en el límite superior del rango

recomendado para carnes curadas (70-75 %) (Toldrá, 2007), lo cual sugiere que podría mejorar la jugosidad y textura del producto final.

Un mecanismo plausible para este aumento de CRA es el aporte de polvo de semilla de achiote (*Bixa orellana*). Según Tran Van Cuong & Chin (2016), este polvo demostró tener capacidad de retener agua y grasa, además de propiedades antioxidantes, cuando fue incorporado en hamburguesas de cerdo refrigeradas

Humedad

Ambos tratamientos evaluados presentaron niveles de humedad dentro del rango considerado adecuado para productos cárnicos curados, que oscila entre 35 % y 55 %, según lo establecido por Toldrá (2007). Este intervalo representa una reducción significativa desde los valores iniciales de la carne fresca, que normalmente contiene entre 70 % y 75 % de humedad. Por su parte, Viuda-Martos *et al.* (2023) señalan que, en carnes curadas crudas con integridad anatómica, como el jamón de res o la cecina, se espera una pérdida de humedad cercana al 34 % del peso inicial, lo que también se traduce en valores finales de humedad similares a los propuestos por Toldrá.

El tratamiento control presentó una humedad promedio de 53,64 %, mientras que el tratamiento optimizado alcanzó 53,13 %, ambos ubicándose cercanos al límite superior del rango recomendado (55 %), lo cual es característico de productos con un proceso de curado relativamente corto o con una menor deshidratación. Esto sugiere que los productos elaborados aún conservan una porción considerable de agua, lo que puede beneficiar la jugosidad y la aceptabilidad sensorial, siempre que no se comprometa la estabilidad microbiológica.

Aunque el ANOVA detectó una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos ($p = 0,0352$), la prueba de Mann–Whitney ($p = 0,10$) no la confirmó, por lo que esta diferencia se interpreta como una tendencia estadística sin impacto crítico. Sin embargo, se observó una menor dispersión en los valores del tratamiento optimizado, lo que indica una mayor homogeneidad en el secado y posiblemente un mejor control del proceso, favorecido por la incorporación de ingredientes funcionales como el polvo de apio y achiote.

- **Evaluación colorimétrica CIELAB**

- **ANOVA y Mann -Whitney de L*, a* y b*.**

Tabla 25

ANOVA y Mann – Whitney de L, a * y b**

Parámetro	Valor F	Valor p (ANOVA)	Interpretación (ANOVA)	Estadístico U (MW)	Valor p (MW)	Interpretación (MW)
L	1871.25	0.0001	Diferencia significativa	0.0	0.0499	Diferencia significativa
a	14041.78	0.0001	Diferencia significativa	0.0	0.0499	Diferencia significativa
b	31.52	0.0045	Diferencia significativa	0.0	0.0499	Diferencia significativa

L* (luminosidad)

Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento optimizado presentó un valor promedio de luminosidad (L*) de 26,11, significativamente mayor que el del tratamiento control (19,74), con diferencias altamente significativas tanto en el análisis de varianza (ANOVA, $p < 0,0001$) como en la prueba de Mann–Whitney ($p = 0,0499$) (Tabla 25). Este incremento en la luminosidad sugiere que la muestra optimizada exhibe una apariencia más clara y brillante, lo cual representa una mejora visual relevante en productos cárnicos curados elaborados con ingredientes naturales.

Según Toldrá (2007), la utilización de sal por sí sola puede generar productos curados con tonalidades más opacas o incluso más oscuras, debido a reacciones de oxidación y desnaturalización superficial que afectan la reflectancia de la luz en la matriz cárnica. El uso de sal de cura en el tratamiento control, si bien aporta nitrito como agente curante, también puede favorecer la formación de pigmentos oscuros, especialmente durante el secado, donde factores como la oxidación de mioglobina y el pardeamiento superficial disminuyen la luminosidad del producto (Sebranek & Bacus, 2007).

Por el contrario, el tratamiento optimizado, elaborado con sal de Maras y una mezcla de polvo de apio y achiote, mostró una superficie más luminosa, lo cual puede atribuirse a varias causas tecnológicas. El apio aporta nitratos naturales que, al reducirse a nitritos durante la maduración, permiten el desarrollo de pigmentos típicos del curado sin generar reacciones de oxidación acelerada (Sindelar & Houser,

2009). En cuanto al polvo de achiote, aunque utilizado principalmente por su efecto antimicrobiano en esta formulación, contiene carotenoides y compuestos antioxidantes que pueden proteger la superficie muscular frente a la degradación oxidativa, ayudando a mantener una mejor reflexión de la luz (Tran Van Cuong & Chin, 2016).

Los resultados de colorimetría muestran diferencias notables entre el tratamiento optimizado (TF) y el control (TC) en los tres parámetros evaluados (L^* , a^* , b^*). El valor de L^* en TF (~26,11) fue significativamente superior al de TC (19,4–20,5), lo que indica una mayor luminosidad y menor opacidad. Este hallazgo es consistente con la afirmación de Sindelar y Houser (2009), quienes, basándose en estudios con mediciones en CIELAB, señalan que los tratamientos con fuentes naturales de nitrato, al formar nitrosomioglobina, pueden mantener una apariencia más brillante y atractiva que los productos sin adición de nitrito.

a^* (intensidad de rojo)

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,0001$ en ANOVA y $p = 0,0499$ en Mann-Whitney), con valores más altos en la muestra optimizada (80,82) frente al control (49,05). Según Honikel (2008), en carnes curadas el desarrollo del color rojo característico está asociado a la formación de nitrosomioglobina, producto de la reacción entre nitritos y la mioglobina muscular. En formulaciones naturales, esta reacción es inducida a partir de nitratos vegetales como los del apio, que al reducirse en el proceso de maduración generan el mismo efecto deseado. Además, aunque el achiote no se aplicó como colorante directo en el interior, sus carotenoides pueden haber contribuido a estabilizar el color y mejorar la apariencia visual del producto final.

TF presentó valores cercanos a 80,8, duplicando la intensidad del rojo en comparación con TC (47,2–50,4). Este comportamiento confirma el efecto sinérgico entre el polvo de apio (fuente de nitrato/nitrito natural) y los carotenoides del achiote (*Bixa orellana*), como bixina y norbixina, los cuales potencian la formación de tonalidades rojas intensas.

De acuerdo con Tran *et al.* (2017), quienes también reportaron sus mediciones de color en sistema CIELAB, la adición parcial de achiote en productos cárnicos aumenta significativamente el valor de a^* , alcanzando un color más vivo sin afectar la aceptabilidad sensorial. Este efecto contrasta con lo reportado por Alemán (2019), cuya tesis evaluó el color en CIELAB y encontró que el uso exclusivo de apio en salchichas Frankfurt tendió a reducir el valor de a^* (6,16–10,57) debido a la ausencia de pigmentos complementarios.

b^* (intensidad de amarillo)

El tratamiento control mostró valores ligeramente superiores de b^* ($\approx 8,64$) respecto a la muestra optimizada ($\approx 6,65$), con diferencias significativas según ANOVA ($p = 0,0045$) y Mann-Whitney ($p = 0,0499$). Esta reducción de la tonalidad amarilla en la muestra optimizada se interpreta como un efecto del predominio del pigmento rojo del achiote, que modula la expresión del componente amarillo, generando un color más uniforme y atractivo.

El componente b^* de TF ($\sim 6,65$) fue inferior al de TC (8,46–8,92), indicando una menor tendencia hacia tonalidades amarillas. Este balance cromático contribuye a un color rojo más “puro” y atractivo para el consumidor, reforzando la hipótesis de que la mezcla apio–achiote actúa como agente curante natural.

En estudios como el de Tran *et al.* (2017), se observó una disminución de b^* en las formulaciones con achiote en comparación con el control con nitrito, mostrando que los carotenoides del achiote tienden a intensificar el rojo sin elevar el componente amarillo. Asimismo, Alemán (2019) encontró que el uso exclusivo de apio incrementó ligeramente los valores de b^* , probablemente debido al pardeamiento oxidativo y a la ausencia de pigmentos rojos complementarios.

- ***Análisis microbiológico***

Con la finalidad de verificar la inocuidad del producto final, se realizó el análisis microbiológico de la muestra optimizada (TF) y del tratamiento control (TC), ambos elaborados bajo condiciones controladas y representativas del proceso propuesto. Los análisis fueron realizados por el laboratorio acreditado SLAB –

Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. y se incluyen en el Anexo 16.

Se evaluaron los siguientes indicadores microbiológicos: recuento de microorganismos *Aerobios mesófilos*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus coagulasa positivo*, *Clostridium perfringens* y *Clostridium botulinum*. Las metodologías aplicadas corresponden a protocolos estandarizados del ICMSF y normas ISO, según se detalla en el informe oficial.

Ambas muestras, tanto la muestra optimizada (TF) como el tratamiento control (TC), presentaron resultados satisfactorios en todos los parámetros analizados. Los recuentos obtenidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método (LCM) en la mayoría de casos (< 10 UFC/g), o mostraron ausencia total, como en el caso de *Salmonella spp.* y *Clostridium botulinum*.

La Tabla 26 presenta los resultados microbiológicos obtenidos para las muestras evaluadas, los cuales se comparan con los límites establecidos en la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (MINSa, 2008). Es importante señalar que dicha norma no contempla criterios específicos para *Clostridium botulinum* en productos cárnicos; sin embargo, este análisis se realizó debido a la relevancia sanitaria de este patógeno (Tabla 27), considerado uno de los microorganismos más peligrosos por su capacidad de producir toxinas neuroparalizantes incluso en bajas concentraciones (Lund & Peck, 2000).

Tabla 26

Resultados microbiológicos de TC (tratamiento control) y TF (mezcla optimizada)

Parámetro	Unidad	TC	TF	Límite m*	Límite M*
<i>Aerobios mesófilos</i> (30 °C)	UFC/g	< 10	< 10	1×10^5	1×10^7
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	< 10	< 10	50	5×10^2
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	< 10	< 10	10^2	10^3
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	< 10	< 10	10^2	10^3
<i>Salmonella spp.</i>	A- P/25g	Ausente	Ausente	Ausencia	—

Nota. *Adaptado de MINSa, 2008.

Tabla 27

Resultados microbiológicos de TC (tratamiento control) y TF (mezcla optimizada) para Clostridium botulinum

Parámetro	Unidad	TC	TF	Límite m	Límite M
<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	Ausente	Ausente	Ausencia	—

Nota. *Adaptado* de (Lund & Peck, 2000)

- **Análisis sensorial**

Se realizó una prueba sensorial con un panel de 35 evaluadores no entrenados, quienes calificaron los tratamientos TC (tratamiento control con sal de cura) y TF (tratamiento formulado con la mezcla optimizada de apio y achiote) en los atributos de apariencia, aroma, sabor y textura, utilizando una escala hedónica de 7 puntos, donde 7 equivalía a "me gusta mucho" y 1 a "me disgusta mucho".

Los resultados promedio obtenidos para cada atributo se presentan en la Tabla 28. En el Anexo 20 se muestran los resultados detallados.

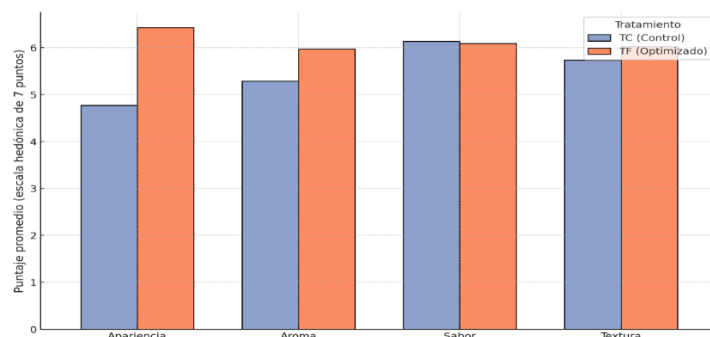
Tabla 28

Resultados de la prueba sensorial

		PRUEBA SENSORIAL							
		APARIENCIA		AROMA		SABOR		TEXTURA	
		TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF
Me gusta mucho	7	20	5	4	4	-	-	2	1
Me gusta moderadamente	6	12	28	25	24	30	26	26	24
Me gusta poco	5	2	2	4	5	4	9	7	9
No me gusta ni me disgusta	4	1	-	1	2	-	-	-	1
Me disgusta un poco	3	-	-	-	-	1	-	-	-
Me disgusta moderadamente	2	-	-	1	-	-	-	-	-
Me disgusta mucho	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 25

Comparación de puntaje de la evaluación sensorial



Comparación de los puntajes sensoriales (Figura 29), otorgados por los panelistas a los tratamientos TC (control con sal de cura) y TF (mezcla optimizada de apio y achiote). Se observa que TF obtuvo una mayor preferencia en apariencia, aroma y textura, mientras que TC fue ligeramente superior en sabor, aunque sin diferencias marcadas.

- **Análisis estadístico**

Dado que los datos provienen de escalas ordinales y que todos los panelistas evaluaron ambos tratamientos, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (Tabla 28). Esta prueba permitió determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en la percepción sensorial de los panelistas entre ambos tratamientos.

Tabla 29

ANOVA Wilcoxon para análisis sensorial

Atributo	Estadístico W	Valor p	Significancia
Apariencia	18.0	0.0016	Significativo
Aroma	1.0	0.6547	No significativo
Sabor	3.0	0.1797	No significativo
Textura	0.0	0.0253	Significativo

Nota: Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$. Datos obtenidos de 35 panelistas que evaluaron ambos tratamientos (TC y TF) en paralelo.

La prueba de Wilcoxon permitió comparar las puntuaciones asignadas por los panelistas a los tratamientos control (TC) y formulado (TF) para los atributos sensoriales de apariencia, aroma, sabor y textura. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los atributos de apariencia y textura, con una clara preferencia hacia el tratamiento formulado (TF).

Los resultados de la evaluación sensorial evidenciaron que el tratamiento optimizado (TF), comparado con el Tratamiento Control (TC) obtuvo calificaciones más altas en apariencia, principalmente por su tonalidad roja más intensa, a pesar de que el achiote, conocido por su efecto colorante, se aplicó únicamente como recubrimiento superficial y no influyó en el color interno de las tajadas evaluadas. Esto sugiere que el color más atractivo percibido en el interior de la carne fue consecuencia del curado con apio, rico en nitratos que, mediante actividad bacteriana, se convierten en nitritos y favorecen la formación de nitrosilmioglobina, el pigmento característico de la carne curada (Toldrá, 2007; Sindelar & Milkowski, 2011). Estos hallazgos concuerdan con Tran *et al.* (2017), quienes demostraron que la combinación de achiote con fuentes naturales de nitrato potencia la percepción visual sin necesidad de nitrito sintético. Asimismo, Sindelar *et al.* (2007) indicaron que productos curados con polvo de apio logran colores comparables a los obtenidos con nitrito convencional cuando se optimizan las condiciones de curado.

Respecto al aroma, aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, el TF mostró una ligera preferencia que podría atribuirse a compuestos volátiles del apio, como ftálicas y terpenos, responsables de notas herbales agradables (Cui *et al.*, 2017). Estos resultados coinciden con lo reportado por Alemán (2019), quien observó que las formulaciones con apio mantienen perfiles aromáticos similares al nitrito, pero con un carácter más natural. De manera complementaria, Sebranek *et al.* (2012) sostienen que los ingredientes naturales no afectan negativamente el aroma cuando las dosis de nitrato/nitrito se controlan adecuadamente.

En el caso de la textura, el TF fue significativamente más apreciado, probablemente debido a una mayor capacidad de retención de agua (CRA) y una estructura muscular más suave tras el curado. Este resultado se alinea con lo

señalado por Sebranek *et al.* (2012), quienes afirman que el uso de curantes vegetales permite mantener características sensoriales positivas como jugosidad y ternura, comparables o superiores a las obtenidas con nitrito sintético. Alemán (2019) también reportó que la percepción de jugosidad fue clave en la aceptación global de salchichas elaboradas con apio, incluso cuando las propiedades mecánicas no mostraron diferencias significativas.

Por último, el sabor no presentó diferencias significativas entre TF y TC, lo cual es positivo, ya que demuestra que el uso de polvo de apio como agente curante no altera negativamente el perfil gustativo. Este resultado es consistente con las conclusiones de Alemán (2019) y Sindelar *et al.* (2007), quienes destacaron que el apio puede reemplazar parcial o totalmente los nitritos sintéticos sin afectar adversamente las características sensoriales, manteniendo la aceptación del producto final.

En términos generales, la evaluación sensorial demuestra que la formulación optimizada (TF) no solo cumple con los atributos esperados de un producto cárnico curado, sino que los iguala o supera respecto al tratamiento control (TC), particularmente en apariencia y textura, sin comprometer el aroma ni el sabor. Este comportamiento sugiere que la interacción entre los compuestos naturales presentes en el polvo de apio y el achiote favorece el desarrollo de características sensoriales aceptables y estables, confirmando que la sustitución parcial de aditivos sintéticos por alternativas naturales puede realizarse sin detrimento de la aceptación del consumidor

CONCLUSIONES

1. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, la muestra optimizada (TF), elaborada con 24,5658 % de polvo de achiote y 75,4342 % de polvo de apio, presentó valores dentro de los rangos recomendados para carnes curadas crudas. Se obtuvo un pH de 5,63, una capacidad de retención de agua (CRA) de 75,37 % y una humedad de 53,13 %, cumpliendo con los criterios establecidos por Toldrá (2007) y FAO (2004), y evidenciando la eficacia de la formulación natural en el proceso de curado.
2. Se evaluó el efecto antimicrobiano sobre el microorganismo *Clostridium perfringens*. Todos los tratamientos, incluido el tratamiento control, cumplieron con los criterios microbiológicos establecidos por la Norma Sanitaria del MINSA (2008) para productos cárnicos curados, teniendo recuentos inferiores al límite de cuantificación (< 10 UFC/g) para *Clostridium perfringens*, Estos resultados evidencian que el uso combinado de polvo de apio y polvo de achiote tienen capacidad de inhibición de este microorganismos patógeno, al igual que la sal de cura, destacando el potencial antimicrobiano natural de estos ingredientes.
3. Se evaluó el efecto de la mezcla de polvo de achiote (24,57 %) y polvo de apio (75,43 %) del tratamiento optimizado sobre el color de la carne de res curada, el cual fue significativo, evidenciado por diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en los parámetros L, a y b^* en comparación con el tratamiento control. El tratamiento optimizado (TF) mostró valores más altos en el parámetro a^* , asociado a tonalidades rojizas, lo cual indica una mayor intensidad de color, esto sugiere que la interacción del polvo de apio y el polvo de achiote en el proceso de curado contribuyeron a una estabilización y mejora en la coloración interna de la carne.
4. Se determinó la ausencia de *Clostridium botulinum*, así como de los microorganismos patógenos estipulados por la Norma Sanitaria del MINSA (2008), tales como *Clostridium perfringens*, *Aerobios mesófilos*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* tanto como en el Tratamiento Control (TC) y el tratamiento optimizado (TF). Estos resultados validan la eficacia antimicrobiana de la formulación natural empleada, reforzando su viabilidad como una alternativa segura al curado convencional.

5. Se evaluaron las características sensoriales mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas, reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los atributos de apariencia y textura, con una preferencia clara de los panelistas hacia la muestra optimizada (TF). Esto indica que el proceso de curado con apio y achiote mejoró las características organolépticas de la carne curada, haciéndola más aceptable sensorialmente en comparación con el tratamiento control elaborado con sal curante.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuras investigaciones se utilice un diseño experimental complementario o alternativo al diseño de mezclas, que permita evaluar los efectos de cada componente de manera independiente y analizar su contribución individual, como diseños factoriales o de superficie de respuesta con factores cuantitativos separados.
- Se recomienda replicar la formulación optimizada (75.43 % apio y 24.56 % achiote) en procesos de producción a mayor escala, con controles de calidad estandarizados, para verificar la reproducibilidad de los resultados fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales obtenidos a nivel experimental.
- Se sugiere aplicar esta mezcla curante natural en otras carnes (porcina o cárnicos embutidos), con el fin de diversificar productos y evaluar la eficacia del apio como fuente de nitratos en distintas matrices.
- Dado que el achiote fue usado superficialmente y mostró efecto antimicrobiano, sería útil analizar su potencial en formulaciones internas, o evaluar su acción conjunta con el apio desde el punto de vista de compuestos bioactivos y su interacción.
- Se sugiere determinar el contenido de nitritos y nitratos mediante métodos instrumentales más precisos, como la espectrofotometría UV-Vis, cromatografía iónica o cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).
- Fomentar la investigación y divulgación de tecnologías de curado natural en la industria alimentaria nacional, especialmente en MYPES cárnicas, como una vía sostenible para sustituir aditivos sintéticos sin comprometer la calidad ni la seguridad alimentaria.

LISTA DE ABREVIATURAS

OMS	Organismo mundial de salud
ANOVA	Análisis de Varianza
a*	Componente rojo–verde del sistema de color CIELAB
b*	Componente amarillo–azul del sistema de color CIELAB
CIELAB Iluminación	Sistema de color definido por la Comisión Internacional de Iluminación
CFU (UFC)	Colony Forming Units / Unidades Formadoras de Colonias
CRA	Capacidad de Retención de Agua
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
L*	Luminosidad (componente de claridad) en el sistema CIELAB
MINSA	Ministerio de Salud del Perú
MW	Mann–Whitney (prueba estadística no paramétrica)
NTP	Norma Técnica Peruana
TC	Tratamiento Control (con sal curante)
TF	Tratamiento Final u Optimizado
UFC/g	Unidades Formadoras de Colonias por gramo
DFD	Oscura, firme y seca
PSE	Pálida, blanda y exudativa

REFERENCIAS

- Ahn, D. U., & Scoular, F. (2012). Natural curing of meat products: Current research and future challenges. En D. U. Ahn, F. Scoular, *et al.*, Nitrite and Nitrate in Meat: Alternatives and Innovations (pp. 201–218). Springer, Nueva York.
- Alahakoon, A. U., Jayasena, D. D., Ramachandra, S., & Jo, C. (2015). Natural preservatives for meat and meat products: a review. *Food Research International*, 91, 29–46.
- Alemán, K. D. (2019). *Efectividad de la sustitución parcial y total de nitritos por apio en polvo (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) en la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de la salchicha tipo Frankfurt* [Tesis de pregrado]. Universidad de Pamplona.
- Ameer, A., Seleshe, S., & Kang, S. N. (2022). Effect of modified atmosphere packaging varying in CO₂ and N₂ composition on quality characteristics of dry fermented sausage during refrigeration storage. *Food Science of Animal Resources*, 42(4), 639–653. (Tabla 1 muestra pH del control al vacío 6,01→5,61 entre días 1–45).
- Andújar, G. (1998). *El curado de la carne y la elaboración tradicional de piezas curadas ahumadas*. España: Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería.
- AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Aruldass, C. A., Tan, T. Y., Ponnusamy, P., & Piaru, S. P. (2021). Achiote (*Bixa orellana* L.)—A natural food colorant with antimicrobial and antioxidant

properties: A review. *Food Research International*, 140, 109877.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109877>

Baños, A., Martínez, L., Núñez, M., & Cid, C. (2014). Evaluación sensorial de alimentos: fundamentos, métodos y aplicaciones. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15(1), 67–78.

Barbut, S. (2015). *The Science of Poultry and Meat Processing*. University of Guelph.
<https://www.uoguelph.ca/foodscience/sites/default/files/Barbut%202015%20Meat%20Processing.pdf>

Blanco-Ríos, A., Casadiego-Ardila, H., & Pacheco, F. (2011). Calidad microbiológica de alimentos remitidos a un laboratorio de control alimentario. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 40(2), 121–130.

Borges, A., Ferreira, C., Saavedra, M. J., & Simões, M. (2013). Antibacterial activity and mode of action of ferulic and gallic acids against pathogenic bacteria. *Microbial Drug Resistance*, 19(4), 256–265.
<https://doi.org/10.1089/mdr.2012.0244>

Bourne, M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2^a ed.). Academic Press.

Cassens, R. G. (1997). *Nitrite-cured meat: A food safety issue in perspective*. CRC Press.

Cavallito, C. J., & Bailey, J. H. (1944). Allicin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. *Journal of the American Chemical Society*, 66(11), 1950–1951.

<https://doi.org/10.1021/ja01239a048>

- Cevallos-Cevallos, J. M., *et al.* (2011). Antioxidant and antimicrobial properties of achiote seed extracts. *Journal of Food Safety*, 31(3), 385–392.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2011.00318.x>
- Codex Alimentarius Commission. (2014). Norma general para los aditivos alimentarios (CODEX STAN 192-1995, Rev. 2014). FAO/WHO.
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>
- Corneliu-Boișteanu, P., Lazar, R., Manoliu, D. R., Ciobotaru, M. C., & Ciobanu, M. M. (2022). Influence of injection level and quantities of brine ingredients on the sensory quality of beef pastrami. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, LXV(1), 481–486
- Cui, H., Zhang, C., Li, C., Lin, L., & Antimicrobial, Y. (2017). Antimicrobial activity and mechanism of cinnamon essential oil and its application in meat preservation: A review. *Meat Science*, 117, 92–104.
- Delgado-Ospina, J., Mendoza, M. M., & Rodríguez, J. L. (2021). Efecto del achiote (*Bixa orellana*) en la estabilidad microbiológica y sensorial de productos cárnicos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 34(2), 107–115.
<https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v34n2a02>
- European Parliament & Council. (2008). Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council on food additives. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008R1333>
- FAO & OMS. (2007). Evaluación de riesgos microbiológicos de los alimentos: Guía para la evaluación de peligros microbiológicos en los alimentos (Vol. 1).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
<https://www.fao.org/3/y1579s/y1579s00.htm>

FAO. (1986). *Manual de métodos analíticos para el control de calidad de alimentos* (Vol. 1). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2007). *Meat Processing Technology*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

FAO/OMS. (2015). *Codex General Standard for Food Additives (GSFA) – CODEX STAN 192-1995*. Codex Alimentarius.

Feiner, G. (2006). *Meat Products Handbook: Practical Science and Technology*. Woodhead Publishing.

Fernández, M., & Caballero, D. (2000). *Tecnología de la carne y productos cárnicos*. Editorial Síntesis.

Food and Agriculture Organization & World Health Organization; United States Department of Agriculture. (2010). *Code of practice for the reduction of, and control of, residues of nitrites and nitrates in foods (RTCA 67.01.50)*. FAO/WHO; USDA.

Fuentes López, A., García Martínez, E., & Fernández Segovia, I. (s.f.). *Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA): método de prensado*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29835/>

- Grau, R., & Hamm, R. (1953). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Muskel. *Naturwissenschaften*, 40, 29–30. <https://doi.org/10.1007/BF00595734>
- Günel-Koroğlu, D., Lorenzo, J. M., & Capanoglu, E. (2023). Plant-based protein–phenolic interactions: Effect on different matrices and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 173, 113269. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113269>
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In P. J. Bechtel (Ed.), *Muscle as Food* (pp. 135–199). Academic Press.
- Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.030>
- Hong, D. I., Choi, D. H., & Chung, K. Y. (2010). A study on the quality characteristics of fermented dry-cured ham during processing. Proceedings of the 56th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), 2010_04_67, 1–4. (Figura “Changes of pH and water holding capacity (WHC) of dry-cured ham during the processing time”)
- Hord, N. G., Tang, Y., & Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131>

- Horsch, A. M., Sebranek, J. G., Dickson, J. S., & Larsen, S. T. (2014). Use of natural nitrate and starter culture to control *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat uncured ham. *Journal of Food Protection*, 77(6), 1008–1016. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-403>
- Hospital, X. F., Hierro, E., Fernández, M., & de la Hoz, L. (2016). Alternatives to nitrites in processed meat: Up to date. *Current Opinion in Food Science*, 7, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.10.003>
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- ICMSF – International Commission on Microbiological Specifications for Foods. (1986). *Microorganisms in foods 2: Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications* (2nd ed.). University of Toronto Press.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (2004). *NTP 201.157:2004. Carnes y productos cárnicos*. INDECOPI.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (1977). *NTP 209.027:1977 – Carne de ganado vacuno. Definiciones y clasificación según su calidad*. Gobierno del Perú.
- International Commission on Illumination (CIE). (2019). *Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space* (ISO/CIE 11664-4:2019). Vienna, Austria: CIE Central Bureau. <https://cie.co.at/publications/colorimetry-part-4-cie-1976-lab-colour-space-1>

- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (1996). *Microorganisms in foods 5: Characteristics of microbial pathogens*. Springer Science+Business Media
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern food microbiology* (7th ed.). Springer Science+Business Media.
- Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., & Cofrades, S. (2001). Caracterización de productos cárnicos curados: propiedades funcionales y evaluación de calidad. *Eurocarne*, (98), 73–80.
- Johnson, E. A. (2013). *Clostridium botulinum*. En M. P. Doyle & R. L. Buchanan (Eds.), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers* (4th ed., pp. 247–272). ASM Press.
- Kim, G. H., & Chin, K. B. (2023). Effect of paprika powder on antioxidant capacity and quality of low-nitrite sausages. *Animal Bioscience*, 44(5), 131775.
- Kim, H. J., Lee, J. W., Kim, M., & Oh, H. (2023). Effect of wet-aging and dry-aging on physicochemical and sensory characteristics of pork and beef loins. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 43(1), 35–43. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e1>
- King, A. M., Glass, K. A., Milkowski, A. L., & Sindelar, J. J. (2015). Impact of clean-label antimicrobials and nitrite derived from natural sources on the outgrowth of *Clostridium perfringens* during cooling of deli-style turkey breast. *Journal of Food Protection*, 78(10), 1823–1831

- Kritsi, E., Ladika, G., Stavropoulou, N., Chouliara, E., & Skandamis, P. N. (2024). Evaluation of the quality changes in three commercial pastourma samples during refrigerated storage using physicochemical, microbiological and image analyses combined with chemometrics. *Foods*, *13*(8), 1211
- Lavieri, N. A., Sebranek, J. G., & Dickson, J. S. (2014). Effects of different nitrite concentrations from a vegetable source, with or without high pressure, on recovery and growth of *Listeria monocytogenes* on ham. *Journal of Food Protection*, *77*(6), 959–966.
- Lawrie, R. A., & Ledward, D. A. (2006). *Lawrie's meat science* (7th ed.). Woodhead Publishing.
- Lee, S. H., & Kim, Y. H. B. (2023). Changes in physicochemical properties and water-holding capacity of dry-aged beef during aging. *Meat Science*, *200*, 108672. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.108672>
- Leistner, L. (2000). Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International Journal of Food Microbiology*, *55*(1-3), 181–186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
- Leistner, L., & Rödel, W. (1975). Water activity in meats. En R. B. Duckworth (Ed.), *Water relations of foods* (pp. 309–334). Academic Press.
- López, L., & Carballo, C. (1991). Distinción entre capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de ligar agua (CLA) en proteínas cárnicas. Fuente secundaria citada en Rengifo Gonzales (2010).
- Lorenzo, J. M., & Franco, D. (2012). Fat effect on physico-chemical, microbial and

textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage *Meat Science*, 92(4), 704–714. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.07.012>

Lucarini, M., Durazzo, A., Sciubba, F., Di Cocco, M. E., Gianferri, R., Alise, M., Santini, A., Delfini, M., & Lombardi-Boccia, G. (2020). Stability of the Meat Protein Type I Collagen: Influence of pH, Ionic Strength, and Phenolic Antioxidant. *Foods*, 9(4), 480. <https://doi.org/10.3390/foods9040480>

Lund, B. M., & Peck, M. W. (2000). *Clostridium botulinum*. En B. M. Lund, T. C. Baird-Parker & G. W. Gould (Eds.), *The Microbiological Safety and Quality of Food* (Vol. II, pp. 1057–1109). Aspen Publishers.

Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>

Mancini, R., Faustman, C., Sun, Q. & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.025>

Medina-Flores, D., Apaza-Tapia, W., & Huallpa-Cueva, R. (2016). Actividad antibacteriana de extractos de Bixa orellana sobre bacterias Gram positivas y Gram negativas. *Journal of Ethnopharmacology*, 188, 195–202.

Mejía, J. C., Rojas, M., & Guerrero, A. (2020). Efecto conservante de extractos vegetales en productos cárnicos: una revisión. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 12(1), 91–103.

Ministerio de Salud del Perú. (2008). Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas

de consumo humano (RM N.º 591-2008/MINSA).
<https://www.digemid.minsa.gob.pe>

Mohd Hassan, N., Yusof, N. A., Yahaya, A. F., Mohd Rozali, N. N., & Othman, R. (2019). Carotenoids of Capsicum fruits: Pigment profile and health-promoting

functional attributes. *Antioxidants*, 8(10), 469.

<https://doi.org/10.3390/antiox8100469>

Monzote, L., Scull, R., Cos, P., & Setzer, W. N. (2012). Essential oils from *Bixa orellana* L.: Chemical composition, cytotoxicity and antimicrobial activity.

Natural Product Communications, 7(7), 955–958.

<https://doi.org/10.1177/1934578X1200700724>

Morais, E. S., Barbosa, J. M., Silva, N. C. C., & Vieira, R. P. (2021). Antimicrobial effect of *Bixa orellana* L. on *Listeria monocytogenes* in vitro. *Food Science and Technology (Campinas)*, 41(Suppl. 2), 1–7.

<https://doi.org/10.1590/fst.23120>

Murray, R. C., & Ullrich, N. B. (2012). Principles of Taste and Flavor Perception. En *Handbook of Sensory Science and Engineering* (pp. 45–60). Springer.

Oliveira, A. C., Dantas, T. R. F., Silva, R. D. C., & Soares, M. J. S. (2020). *Bixa orellana* L. (achiote/achiote) as an antimicrobial agent: A scoping review of its efficiency and technological prospecting. *Research, Society and Development*,

9(11), e67091110018. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10018>

Palacios Quispe, C. (2018). Evaluación de extractos naturales en la vida útil de carne de res almacenada en refrigeración (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Perú.

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pegg, R. B., & Shahidi, F. (2000). Nitrite Curing of Meat: The N-nitrosamine Problem and Nitrite Alternatives. Food & Nutrition Press.
- Pérez-Fons, L., Garzón, M. T., Micol, V., & Núñez-Selles, A. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of extracts from Bixa orellana seeds. *Food Chemistry*, 104(1)
- Peryam, D. R., & Pilgrim, F. J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11, 9–14.
- Peter, K. V. (2001). *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead Publishing.
- Pork Information Gateway. (2007). *Water-holding capacity of fresh meat*. U.S. Pork Center of Excellence. <https://porkgateway.org/resource/water-holding-capacity-of-fresh-meat/>
- Puolanne, E., & Peltonen, J. (2013). The effects of high salt and low pH on the water-holding of meat. *Meat Science*, 93(2), 167–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.015>
- Ramos Sánchez, P. (2021). Uso de apio (*Apium graveolens*) como fuente de nitratos naturales en la elaboración de jamón de cerdo curado (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Ramírez-Cárdenas, L. (2015). Efecto del tiempo de secado y de distintos cortes de músculos de res en las características fisicoquímicas y sensoriales de carne seca (cecina). *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(1), C31–C38.

- Rivera-Madrid, R., Aguilar-Espinosa, M., Cárdenas-Conejo, Y., & Garzón-Martínez, G. A. (2016). Carotenoid derivatives in achiote (*Bixa orellana*): Advances, challenges and perspectives. *Food Chemistry*, 199, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.019>
- Rubio, B., Martínez, B., Sánchez, M. J., García-Cachán, M. D., Rovira, J., & Jaime, I. (2007). Study of the shelf life of a dry fermented sausage “salchichon” made from raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids and stored under modified atmospheres. *Meat Science*, 76(1), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.021>
- Rugeles, L. F., Sánchez, M. C., & Rodríguez, J. (2011). La cadena de valor de los ingredientes naturales del biocomercio para las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. *ANDI/Facultad Nacional de Salud Pública*, 35–66.
- Salcedo, J. (2017). La sal de Maras: tradición, nutrición y cultura andina. *Revista de Gastronomía Peruana*, 12(2), 45–50.
- Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>
- Schanda, J. (Ed.). (2007). *Colorimetry: Understanding the CIE system*. Wiley-Interscience. <https://doi.org/10.1002/0470175637>
- Schmidr-Hebbel, A., Müller, H., & Schneider, P. (1983). Estructura muscular y desarrollo del pH en carnes crudas curadas (pp. 45–60). Instituto de Tecnología de Alimentos, Universidad de Friburgo.

ScienceDirect. (s. f.). *Lab colour space and values*. En *ScienceDirect Topics*.

Elsevier. Recuperado el 10 de septiembre de 2025, de

<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/lab-color-space>

Sebranek, J. G., & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.025>

Sebranek, J. G., & Bacus, J. N. (2007). Natural and organic cured meat products: Regulatory, manufacturing, marketing, quality and safety issues. *Meat Science*, 77(1), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.029>

Sebranek, J. G., Jackson-Davis, A. L., Myers, K. L., & Lavieri, N. A. (2012). Beyond celery and starter culture: Advances in natural/organic curing processes in the United States. *Meat Science*, 92(3), 267–273.

Sebranek, J. G., Sindelar, J. J., & Houser, T. A. (2012). Modeling the curing process in naturally cured meats. *Meat Science*, 92(3), 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.006>

Shafeie Sarvestani, P., & cols. (2024). Development of a simple and rapid dipstick paper-based test strip for colorimetric determination of nitrate and nitrite in water and foodstuffs. *Food Chemistry*, 461, 140856. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140856>

Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2^a ed.). McGraw-Hill.

Sindelar, J. J. & Milkowski, A. L. (2012). Human safety controversies surrounding

nitrate and nitrite in the diet. *Nitric Oxide*, 26(4), 259–266.

Sindelar, J. J., & Houser, T. A. (2009). Alternative curing systems. En R. Tarté (Ed.), *Ingredients in meat products: Properties, functionality and applications* (pp. 379–405). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4_15

Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Sebranek, J. G., Love, J. A., & Ahn, D. U. (2007). Effects of vegetable juice powder concentration and storage time on quality attributes of uncured cooked sausages. *Meat Science*, 77(4), 519–526.

Skibsted, L. H. (1992). *Cured meat products and their oxidative stability.*, Blackie Academic & Professional.

Society of Sensory Professionals. (2021). The 9-Point Hedonic Scale.

Srinivasan, K. (2007). Black pepper and its pungent principle-piperine: A review of diverse physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(8), 735–748.

Sriti, J., Talou, T., Faye, M., Vilarem, G., & Marzouk, B. (2011). Chemical composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed essential oil. *Acta Horticulturae*, 925

Stat-Ease, Inc. (2020). Design-Expert software, version 13. Minneapolis, MN: Stat-Ease, Inc. <https://www.statease.com/software/design-expert/>

Toldrá, F. (2006). *Handbook of food science, technology, and engineering* (Vol. 4). CRC Press.

Toldrá, F. (2007). *Curing*. In *Handbook of Fermented Meat and Poultry* (pp. 29–36). Blackwell Publishing.

- Toldrá, F. (2021). *Dry-cured meat products*: En F. Toldrá (Ed.), *Handbook of Fermented Meat and Poultry* (2nd ed., pp. 3–11). Wiley-Blackwell.
- Toldrá, F., & Reig, M. (2006). Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science & Technology*, 17(11), 674–681.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.06.003>
- Tran Van Cuong, & Chin, K. B. (2016). Effects of Achiote (*Bixa orellana* L.) seeds powder on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activities of pork patties during refrigerated storage. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources*, 36(4), 476–486.
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.4.476>
- Tran, N. L., Pham, V. H., & Le, H. T. (2017). Effects of partial replacement of nitrite by achiote (*Bixa orellana* L.) seed powder on the properties of pork sausages. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 55(6), 751–759.
<https://doi.org/10.15625/2525-2518/55/6/8578>
- U. S. Food and Drug Administration. (2017, 1 de abril) *21 CFR 172.175 – Sodium Nitrite. Code of Federal Regulations*.
- Unión Europea. (2008). Reglamento (CE) N.º 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios. Diario Oficial de la Unión Europea, L 354/16.
- United States Department of Agriculture. (2020). *Safe minimum internal temperature chart*. FoodSafety.gov. <https://www.foodsafety.gov/food-safety-charts/safe-minimum-cooking-temperature>

- USDA (United States Department of Agriculture). (2021). FoodData Central: Nutrient profile for beef, raw. U.S. Department of Agriculture. <https://fdc.nal.usda.gov/>
- USDA-FSIS. (2022). *Safe and suitable ingredients used in the production of meat, poultry, and egg products*. Directive 7120.1. United States Department of Agriculture.
- Ventanas, S., Martín, D., Estévez, M., & Ruiz, J. (2004). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (I–II): Estrategias de actuación y métodos de análisis de nitrosaminas. *Eurocarne*, (129–130), 1–49.
- Viuda-Martos, M. (2023). Productos cárnicos crudo-curados (NACAMEH, 17(1), 13–27). Universidad Miguel Hernández de Elche, España.
- Watanabe, N. S., & Yamasaki, H. (2016). *Dynamics of nitrite content in fresh spinach leaves: Evidence for nitrite formation caused by microbial nitrate reductase activity*. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 7, 572. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000572>
- Weiss, J., Engel, K., & Schlegel, K. (2010). Ingredients and processing of cured meat products. En T. S. P. Sebranek & E. W. Solberg (Eds.), *Advances in Meat Science and Technology* (pp. 103–118). Elsevier.
- Yupanqui Tello, K. (2019). *Uso de extractos naturales como sustituto del nitrito en chorizos artesanales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú.

ANEXOS

Anexo 1

Proceso de obtención de la carne curada con polvo de achiote y polvo de apio



Proceso de deshidratado de la carne usando sal gruesa de Maras



Carne deshidratada y lavada para quitar el exceso de sal



Aplicación de la mezcla de polvo de achiote y polvo de apio



Proceso de curado (4 días)



Aplicación del recubrimiento con la mezcla de especias



Carne curada lista para empacar



Carne curada lista empacada al vacío

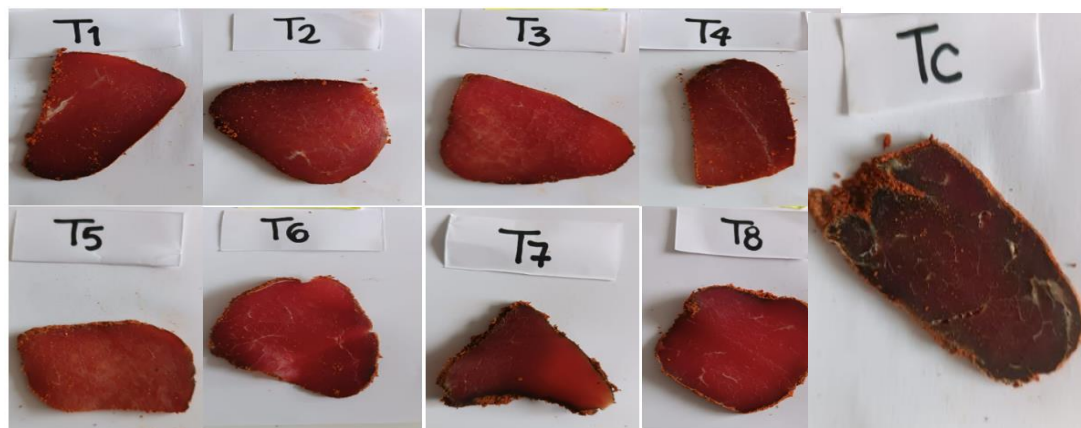
Anexo 2

Loncheado de la carne curada / empacado en presentación trozos



Anexo 3

Muestras de carne curada (T1-T8) y TC – día 1



Anexo 4

Proceso de secado en la estufa para la determinación de humedad



Anexo 5

Preparación de las muestras para la prueba de Capacidad de retención de agua (CRA), pesado de papel filtro y muestra para la determinación



Anexo 6

Preparación de las muestras y medición de pH



Anexo 7

Proceso de fermentación y deshidratado del apio



Anexo 8

Uso del Colorímetro de CieLab



Anexo 9

Muestras de carne curada con la mezcla optimizada (TF)



Anexo 10

Muestras de carne curada con sal curante (TC)



Anexo 11

Prueba sensorial



Anexo 12

Cocción de las muestras para el análisis sensorial



Anexo 13

Ficha de evaluación sensorial de carne curada con polvo de achiote y polvo de apio

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia
E.P. de Ingeniería en Industrias Alimentarias

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE CARNE CURADA DE RES

Nombres y Apellidos: _____ Fecha: _____

INSTRUCCIONES PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

- En los platos frente a usted hay dos muestras de carne curada de res para que las compare en cuanto: **APARIENCIA, AROMA, SABOR Y TEXTURA**.
- Por favor, **MANTENGA EL ORDEN** de cada atributo sensorial al comparar. Primero compare la **APARIENCIA**, seguidamente el **AROMA** de las muestras, luego el **SABOR** y finalmente, la **TEXTURA**.
- Indique el grado en que le agrada o desagrada cada muestra, colocando un aspa "X" dentro de los recuadros según su criterio de aceptación. **RECUERDE TOMAR AGUA ENTRE CADA MUESTRA.**

	APARIENCIA		AROMA		SABOR		TEXTURA	
	A	B	A	B	A	B	A	B
7 (Me gusta mucho)								
6 (Me gusta moderadamente)								
5 (Me gusta poco)								
4 (No me gusta ni me disgusta)								
3 (ME disgusta un poco)								
2 (ME disgusta moderadamente)								
1 (Me disgusta mucho)								

Comentarios y sugerencias:

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo 14

Almacenamiento de la carne curada con lectura de termohigrómetro



Anexo 15

Informes de ensayo microbiológico



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

IE-2025-0539

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GRUPO INDEBA S.A.C
1.2 RUC o DNI : 20494206502
1.3 Dirección : AV. SEÑOR DE QUINUAPATA 204

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CARNE CURADA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (9)
2.3 Número de Muestras : 09
2.4 Fecha de Recepción : 2025-02-01
2.5 Periodo de Ensayo : 2025-02-01 al 2025-02-09
2.6 Fecha de Emisión : 2025-02-02
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2025-02-01; 07:17 am
2.8 N° de cotización : COT-101940-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Recuento de Clostridium perfringens	ICMSF. Food Microorganisms. Their meaning and enumeration methods. Method 2, Pages 281-283, I, II and III. 2nd Ed. Reprint 2000.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Carne curada (9)


DIEGO ROMÁN VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla N°1: RESULTADOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-01	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
S-02		UFC/g	10	< 10
S-03		UFC/g	10	< 10
S-04		UFC/g	10	< 10
S-05		UFC/g	10	< 10
S-06		UFC/g	10	< 10
S-07		UFC/g	10	< 10
S-08		UFC/g	10	< 10
S-09		UFC/g	10	< 10

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

Ⓢ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

**INFORME DE ENSAYO
IE-2025-0604**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GRUPO INDEBA S.A.C
1.2 RUC o DNI : 20494206502
1.3 Dirección : AV. SEÑOR DE QUINUAPATA 204

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CARNE CURADA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (4)
2.3 Número de Muestras : 09
2.4 Fecha de Recepción : 2025-02-10
2.5 Período de Ensayo : 2025-02-10 al 2025-02-19
2.6 Fecha de Emisión : 2025-02-10
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2025-02-10; 08:26 am
2.8 N° de cotización : COT-102008-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Recuento de Clostridium perfringens	ICMSF. Food Microorganisms. Their meaning and enumeration methods. Method 2, Pages 281-283, I, II and III. 2nd Ed. Reprint 2000.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Carne curada (4)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla N°1: RESULTADOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-01	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
S-02		UFC/g	10	< 10
S-03		UFC/g	10	< 10
S-04		UFC/g	10	< 10
S-05		UFC/g	10	< 10
S-06		UFC/g	10	< 10
S-07		UFC/g	10	< 10
S-08		UFC/g	10	< 10
S-09		UFC/g	10	< 10

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2025-0678

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GRUPO INDEBA S.A.C
1.2 RUC o DNI : 20494206502
1.3 Dirección : AV. SEÑOR DE QUINJAPATA 204

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CARNE CURADA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (d)
2.3 Número de Muestras : 02
2.4 Fecha de Recepción : 2025-02-20
2.5 Período de Ensayo : 2025-02-20 al 2025-03-01
2.6 Fecha de Emisión : 2025-02-20
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-102097-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Recuento de Microorganismos Aerobios Mesófilos	ICMSF. Food Microorganisms; Their meaning and enumeration methods. Method 1, Pages 117-123 2nd Ed. Reprint 2000.
Recuento de Escherichia coli (ufc)	ICMSF MICROORGANISMOS DE LOS ALIMENTOS 1. PARTE II. MÉTODOS RECOMENDADOS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS. PÁGS. 149-150, 2DA.
Detección de Salmonella spp	ISO 6579-1:2017/Amd 1:2020 (except 9.3.3, 9.4.3 and Annex D). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella. Part 1: Detection of Salmonella spp.
Recuento de Staphylococcus aureus Coagulasa Positivos	ISO 6888-1:2021, except 9.4. 3. Microbiology of the food chain - Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (Staphylococcus aureus and other species) - Part 1: Method using BairdParker agar medium
Recuento de Clostridium perfringens	ICMSF. Food Microorganisms. Their meaning and enumeration methods. Method 2, Pages 281-283, I, II and III. 2nd Ed. Reprint 2000.
Clostridium Botulinum	ICMSF. Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. 2da. Ed., 1983. Pág. 267-273. Reimpresión 2000.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Carne curada (e)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla N°1: RESULTADOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-TF	<i>Aerobios Mesófilos</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	N. A	Ausencia
	<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Salmonella spp</i>	A-P/25g	N. A	Ausencia
	<i>Staphylococcus aureus coagulasa positivo</i>	UFC/g	10	< 10
S-TC	<i>Aerobios Mesófilos</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	N. A	Ausencia
	<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Salmonella spp</i>	A-P/25g	N. A	Ausencia
	<i>Staphylococcus aureus coagulasa positivo</i>	UFC/g	10	< 10

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

(*) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Informe de ensayo microbiológico de Clostridium perfringens, Clostridium botulinum, Aerobios mesófilos, Escherichia coli, Salmonella sp y Staphylococcus aureus para T8 (tratamiento con mejor aspecto) y TC (tratamiento control) (día 20)

**INFORME DE ENSAYO
IE-2025-3758**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GRUPO INDEBA S.A.C
1.2 RUC o DNI : 20494206502
1.3 Dirección : AV. SEÑOR DE QUINUAPATA 204

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CARNE CURADA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (4)
2.3 Número de Muestras : 02
2.4 Fecha de Recepción : 2025-05-20
2.5 Período de Ensayo : 2025-05-20 al 2025-06-01
2.6 Fecha de Emisión : 2025-02-20
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-172452-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Recuento de Microorganismos Aerobios Mesófilos	ICMSF. Food Microorganisms; Their meaning and enumeration methods. Method 1, Pages 117-123 2nd Ed. Reprint 2000.
Recuento de Escherichia coli (ufc)	ICMSF MICROORGANISMOS DE LOS ALIMENTOS 1. PARTE II. MÉTODOS RECOMENDADOS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS. PÁGS. 149-150. 2DA.
Detección de Salmonella spp	ISO 6579-1:2017/Amd 1:2020 (except 9.3.3, 9.4.3 and Annex D). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella. Part 1: Detection of Salmonella spp.
Recuento de Staphylococcus aureus Coagulasa Positivos	ISO 6888-1:2021, except 9.4. 3.. Microbiology of the food chain - Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (Staphylococcus aureus and other species) - Part 1: Method using BairdParker agar medium
Recuento de Clostridium perfringens	ICMSF. Food Microorganisms. Their meaning and enumeration methods. Method 2, Pages 281-283, I, II and III. 2nd Ed. Reprint 2000.
Clostridium Botulinum	ICMSF. Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. 2da. Ed., 1983. Pág. 267-273. Reimpresión 2000.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Carne curada (4)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla N°1: RESULTADOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-TF	<i>Aerobios Mesófilos</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	N. A	Ausencia
	<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Salmonella spp</i>	A-P/25g	N. A	Ausencia
	<i>Staphylococcus aureus coagulasa positivo</i>	UFC/g	10	< 10
S-TC	<i>Aerobios Mesófilos</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Clostridium botulinum</i>	A-P/5g	N. A	Ausencia
	<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	10	< 10
	<i>Salmonella spp</i>	A-P/25g	N. A	Ausencia
	<i>Staphylococcus aureus coagulasa positivo</i>	UFC/g	10	< 10

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

Ⓢ Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO

Informe de ensayo microbiológico de Clostridium perfringens, Clostridium botulinum, Aerobios mesófilos, Escherichia coli, Salmonella sp y Staphylococcus aureus para Tf (mezcla optimizada) y TC (tratamiento control)

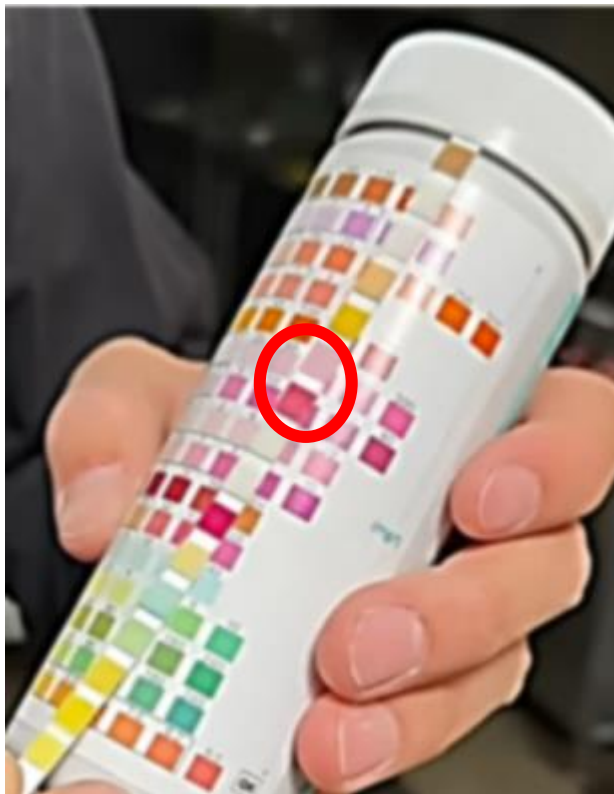
Anexo 16

Prueba de nitratos (positivo) y nitritos (negativo) antes de la fermentación



Anexo 17

Prueba de nitratos (positivo) y nitritos (positivo) después de la fermentación



Anexo 18

Cantidad de nitritos determinado en el jugo de apio fermentado con tiras reactivas (mg/L o ppm)

Contenido	
Nitritos	~ 80 ppm
Nitratos	~ 50 ppm

Anexo 19

Datos para determinar CRA

Tratamiento	Humedad (g H ₂ O/g de muestra)	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)
TC	0,5392	0,302	0,134	0,095
	0,5396	0,303	0,142	0,104
	0,5394	0,301	0,137	0,101
T1	0,5258	0,295	0,13	0,091
	0,5266	0,292	0,14	0,103
	0,5261	0,294	0,135	0,097
T2	0,5392	0,293	0,146	0,107
	0,5383	0,301	0,13	0,09
	0,5389	0,294	0,132	0,093
T3	0,5378	0,293	0,143	0,105
	0,5384	0,292	0,134	0,096
	0,5374	0,291	0,134	0,096
T4	0,5374	0,291	0,14	0,102
	0,5381	0,294	0,148	0,11
	0,5372	0,302	0,148	0,109
T5	0,5364	0,302	0,148	0,109
	0,5362	0,304	0,143	0,104
	0,5358	0,302	0,133	0,094
T6	0,5335	0,294	0,141	0,103
	0,5336	0,299	0,144	0,104
	0,5329	0,304	0,131	0,092
T7	0,5378	0,291	0,135	0,096
	0,5367	0,29	0,145	0,107
	0,5372	0,296	0,145	0,107
T8	0,5271	0,303	0,148	0,109
	0,5265	0,297	0,13	0,092
	0,5259	0,293	0,136	0,099

Anexo 20

Consolidado de las respuestas de los jueces para Apariencia, Aroma, Sabor y

Textura

Jueces	Muestra	Apariencia	Aroma	Sabor	Textura
1	TC	7	7	6	7
2	TC	7	7	6	7
3	TC	7	7	6	6
4	TC	7	7	6	6
5	TC	7	6	6	6
6	TC	7	6	6	6
7	TC	7	6	6	6
8	TC	7	6	6	6
9	TC	7	6	6	6
10	TC	7	6	6	6
11	TC	7	6	6	6
12	TC	7	6	6	6
13	TC	7	6	6	6
14	TC	7	6	6	6
15	TC	7	6	6	6
16	TC	7	6	6	6
17	TC	7	6	6	6
18	TC	7	6	6	6
19	TC	7	6	6	6
20	TC	7	6	6	6
21	TC	6	6	6	6
22	TC	6	6	6	6
23	TC	6	6	6	6
24	TC	6	6	6	6
25	TC	6	6	6	6
26	TC	6	6	6	6
27	TC	6	6	6	6
28	TC	6	6	6	6
29	TC	6	6	6	5
30	TC	6	5	6	5
31	TC	6	5	5	5
32	TC	6	5	5	5
33	TC	5	5	5	5
34	TC	5	4	5	5
1	TF	7	7	6	7
2	TF	7	7	6	6
3	TF	7	7	6	6
4	TF	7	7	6	6
5	TF	7	6	6	6
6	TF	6	6	6	6
7	TF	6	6	6	6

8	TF	6	6	6	6
9	TF	6	6	6	6
10	TF	6	6	6	6
11	TF	6	6	6	6
12	TF	6	6	6	6
13	TF	6	6	6	6
14	TF	6	6	6	6
15	TF	6	6	6	6
16	TF	6	6	6	6
17	TF	6	6	6	6
18	TF	6	6	6	6
19	TF	6	6	6	6
20	TF	6	6	6	6
21	TF	6	6	6	6
22	TF	6	6	6	6
23	TF	6	6	6	6
24	TF	6	6	6	6
25	TF	6	6	6	6
26	TF	6	6	6	5
27	TF	6	6	5	5
28	TF	6	6	5	5
29	TF	6	5	5	5
30	TF	6	5	5	5
31	TF	6	5	5	5
32	TF	6	5	5	5
33	TF	6	5	5	5
34	TF	5	4	5	5
35	TF	5	4	5	4

Nota: TC: Tratamiento Control, TF, Tratamiento Optimizado

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res**Expositora: Thalia Mia De La Peña Roca
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2565675

Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 27-11-2025

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día lunes uno de diciembre del año dos mil veinticinco, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Thalia Mia De La Peña Roca**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ, Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA (Miembros) y Mg. Edith Susan PILLACA MEDINA (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res**, presentado por la Bachiller **Thalia Mia De La Peña Roca**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Thalia Mia De La Peña Roca**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Edith Susan PILLACA MEDINA, Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA y Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res

**Expositora: Thalia Mia De La Peña Roca
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2565675

Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 27-11-2025

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Thalia Mia De La Peña Roca**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cincuenta minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente

.....
Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ
Miembro

.....
Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA
Miembro

.....
Mg. Edith Susán PILLACA MEDINA
Miembro-Asesor

.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario Docente

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res

Expositor: Yul Brynner Perez Yaranga
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2565675 Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D Fecha: 27-11-2025

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día lunes uno de diciembre del año dos mil veinticinco, se reunieron el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Yul Brynner Perez Yaranga**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ, Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA (Miembros) y Mg. Edith Susan PILLACA MEDINA (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res**, presentado por el Bachiller **Yul Brynner Perez Yaranga**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Yul Brynner Perez Yaranga**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición del Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Edith Susan PILLACA MEDINA, Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA y Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res

Expositor: Yul Brynner Perez Yaranga
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2565675

Resolución Decanal N° 181-2025-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 27-11-2025

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó al Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO CATORCE (14).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que el Bachiller **Yul Brynner Perez Yaranga**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cincuenta minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente


.....
Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ
Miembro


.....
Mg. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA
Miembro


.....
Mg. Edith Susan PILLACA MEDINA
Miembro-Asesor


.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
Secretario Docente



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, los Sres. Thalia Mia DE LA PEÑA ROCA y Yul Brynner PEREZ YARANGA egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias han remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Edith Susan Pillaca Medina, la Tesis: Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res, y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 8% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha abril 21 de 2026 e Identificador de la Entrega N° 2939419679.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 23 de abril del 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

MESTAS
Antonio J. Mestas Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 069

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res

por Thalia Mia De la Peña Roca y Yul Brynner Perez Yaranga

Fecha de entrega: 21-abr-2026 11:53a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2939419679

Nombre del archivo: TESIS_RECORTADA.pdf (2.16M)

Total de palabras: 24994

Total de caracteres: 131738

Evaluación del efecto curante de la mezcla de polvo de achiote (*Bixa orellana*) y polvo de apio (*Apium graveolens*) en carne de res

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.esпам.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	idoc.pub Fuente de Internet	1%
4	cbs.izt.uam.mx Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
6	www.danielcervera.es Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	vsip.info Fuente de Internet	<1%
9	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
10	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%

12	repositoriodspace.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %
20	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo