

Efecto de la adición de papaína y bromelina en un marinado para el ablandamiento de carne de res

Effect of the addition of papain and bromelain in a marinade for tenderizing beef

Artículo Original		
Recibido: 04/09/2024	Estalin Mauricio Mullo Yungan ¹ estalin.mullo6445@utc.edu.ec ORCID: 0009-0005-3881-2041	Liliana Maribel Llumitasig Casillas ¹ liliana.llumitasig6370@utc.edu.ec ORCID: 0009-0009-1610-5695
Aceptado: 15/11/2024	Tanya Negrete Ontaneda ¹ tanya.negrete4945@utc.edu.ec ORCID: 0009-0000-7427-8185	Evelyn Andrea Rivera Toapanta ¹ evelyn.rivera6209@utc.edu.ec ORCID: 0000-0002-5580-8467
Publicado: 06/01/2025	Universidad Técnica de Cotopaxi ¹	

Resumen

La carne es un alimento apetecido a nivel mundial, una cualidad que determina la calidad es la ternura, por ello desde épocas remotas el ser humano ha tratado de obtener la mayor ternura mediante distintos métodos, como las técnicas enzimáticas que busca obtener una mayor ternura sin comprometer las propiedades y el sabor. El estudio se orientó a determinar el efecto de la papaína y bromelina en el ablandamiento de carne. Para efecto se trabajó mediante cinco muestras una de control sin enzimas, y las cuatro con bromelina y papaína al 0,5% y al 1%. Se realizaron dos análisis sensoriales con 60 participantes en cada una y el análisis fisicoquímico de las muestras mediante análisis de laboratorio. Los resultados reflejan con el análisis de varianza ANOVA que los tratamientos son diferentes y estadísticamente significativos siendo la muestra papaína al 0,5% la que obtuvo la aceptación más alta en términos de ternura. Las medias de mínimos cuadrados respaldan la efectividad de la papaína al 0,5% y 1% mientras que la bromelina obtuvo promedios inferiores. La prueba de Tukey destacó diferencias significativas en la comparación entre tratamientos. En las comparaciones múltiples de tukey los tratamientos con 0.5% y 1% de Papaína destacan en el grupo superior (B) y la bromelina en el grupo intermedio. El análisis fisicoquímico destacan variaciones entre las muestras las diferencias más marcadas se observan en el contenido de grasas y cenizas, lo que sugiere que las enzimas utilizadas pueden alterar significativamente estos componentes. Mediante el análisis multicriterio de puntaje compuesto refleja que la muestra con 0.5% Papaína tiene el puntaje compuesto más alto (0.76164), destacándose por su excelente desempeño en sólidos totales, proteínas y cenizas. En conclusión, el estudio determina la muestra al 0,5% de papaína como la más óptima en ternura tanto en percepción sensorial como en características fisicoquímicas.

Palabras Clave: papaína; bromelina; ablandamiento; carne.

Abstract

Meat is a food that is desired worldwide, and one quality that determines its quality is tenderness. For this reason, since ancient times, human beings have tried to obtain greater tenderness through different methods, such as enzymatic techniques that seek to obtain greater tenderness without compromising the properties and flavor. The study was oriented to determine the effect of papain and bromelain in meat tenderization. For this purpose, five samples were used, one control sample without enzymes and four with bromelain and papain at 0.5% and 1%. Two sensory analyses were carried out with 60 participants in each one and the physiochemical analysis of the samples by means of laboratory analysis. The results reflect with ANOVA analysis of variance that the treatments are different and statistically significant with the 0.5% papain sample obtaining the highest acceptance in terms of tenderness. Least squares mean support the effectiveness of 0.5% and 1% papain while bromelain obtained lower means. Tukey's test highlighted significant differences in the comparison between treatments. In the Tukey's multiple comparisons, the treatments with 0.5% and 1% papain stand out in the superior group (B) and bromelain in the intermediate group. The physiochemical analysis showed variations among the samples, the most marked differences being observed in the fat and ash content, which suggests that the enzymes used may have a significant effect on the fat and ash content, which suggests that the enzymes used may have a significant effect on the fat and ash content.

Keywords: papain, bromelain, meat softening, meat.

INTRODUCCIÓN

La carne de res es sin duda un alimento muy apetecido por millones de personas en todo el mundo. Como afirma García (2024) el consumo de carne a nivel mundial alcanzó 272 millones 249 mil toneladas, la producción cárnica cifró 276 millones 978 mil toneladas y la comercialización internacional de carne cuantificó 35 millones 498 mil toneladas. No obstante, una característica esencial relacionada con la calidad de este alimento es su textura en este sentido aparece el término

ablandamiento que es un procedimiento orientado a buscar que la pulpa de res tenga una textura suave y delicada lo que la hace más apetecible y agradable al paladar. Desde tiempos remotos las personas han desarrollado diferentes procedimientos y estrategias para lograr una carne “blanda”. De forma tradicional el ablandamiento se puede lograr a través de técnicas mecanizadas, mediante químicos o enzimas.

En línea con lo anterior Díaz (2020) afirma que la textura y el color algunas de las principales características que determina la calidad de la carne y la aceptabilidad del consumidor en el plato. Afirma además que, existen varios métodos tradicionales para el ablandamiento de la carne entre los cuales se encuentran procesos mecánicos, enzimáticos y químicos. Baudi (2021) afirma que la aplicación de enzimas en la industria alimentaria se remonta años atrás. Es por ello que, debemos indicar que los pueblos que solían utilizar hojas de ciertas plantas para envolver la carne, facilitaban la acción de las proteasas sobre las proteínas del tejido animal provocando su ablandamiento.

Las técnicas por enzimas o enzimáticas son una opción óptima por lograr el ablandamiento sin afectar el sabor o las propiedades de la carne. Considerando el uso de enzimas como la papaína y la bromelina, derivadas de plantas tropicales, ha ganado interés debido a sus propiedades proteolíticas, que facilitan la división de proteínas musculares responsables de la dureza, se puede obtener resultados sorprendentes que harán de este alimento de origen animal un verdadero deleite.

Una enzima es una proteína que funciona como catalizador biológico mediante una serie de reacciones bioquímicas. Así pues, es necesario que las células incluyendo microorganismos producen enzimas que contienen acciones metabólicas. Además, que emplean la desnaturalización de las proteínas y transformarlas en energía (Guacho, 2020).

La papaína es obtenida del látex de la papaya y la bromelina por su parte se extrae del tallo y fruto de la piña, estos dos elementos son reconocidos y aceptados en la industria alimentaria por su eficacia en el desdoblamiento de enlaces peptídicos, pues no solo mejoran la textura, sino que también permiten que los marinados se impregnen de manera más uniforme en la carne, potenciando su sabor y reduciendo los tiempos de cocción.

Las enzimas proteasas de origen vegetal más comercializadas a nivel industrial han sido papaína, quimopapaína (extraída del látex de papaya), la ficina (del látex del árbol de higo); y bromelina (obtenida del tallo de piña). (Rivera, 2020) No obstante, la aplicación de estas enzimas en la industria alimentaria requiere una evaluación cuidadosa de las proporciones y tiempos de exposición para evitar efectos indeseados, como una textura excesivamente blanda o alteraciones organolépticas. “La suavidad del tejido conectivo varía de acuerdo con el contenido de colágeno presente en la carne”. (Acosta et al., 2023, p3)

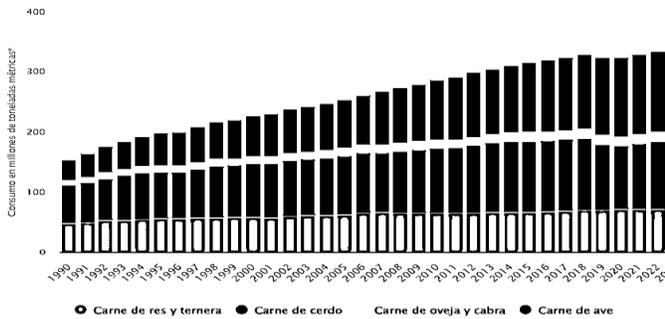
Por lo expuesto el estudio tiene como objetivo analizar el efecto combinado de la papaína y la bromelina en un marinado diseñado para ablandar carne de res, considerando su impacto en parámetros clave como la textura, la jugosidad y la aceptación sensorial. La investigación busca proporcionar una base científica para el uso óptimo de estas enzimas, promoviendo alternativas sostenibles y prácticas para mejorar la calidad de los

productos cárnicos en la industria alimentaria.

Consumo de carne de res

Para Statista (2023) el consumo mundial de carne en 2023 superó en más del doble el registrado en 1990, situándose en torno a los 340 millones de toneladas métricas. La carne procedente de las aves es la que más aumentado de 34,6 toneladas en 1990 a cerca de 135,5 millones en 2023. En segundo lugar, el consumo de carne porcina y en tercer lugar la carne de res pasando de 48 toneladas en 1990 a 72,2 toneladas en 2023. Como se observa en el gráfico:

Figura 1
Consumo de carne a nivel mundial por tipo 1990-2023

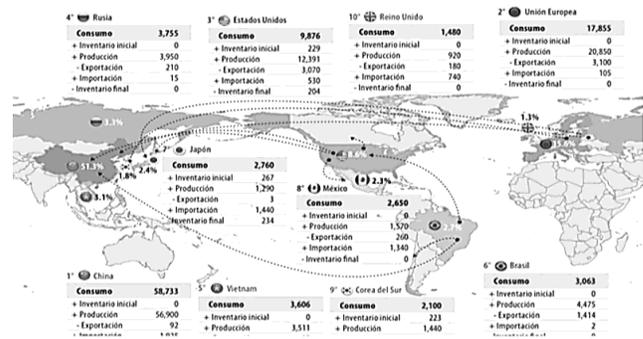


Nota. Obtenido de Statista 2023.

En 2023, para García (2024) el consumo global de carne de res registró un incremento moderado del 0,7%, impulsado por la creciente demanda en diez de los quince principales países consumidores. Sin embargo, esta tendencia se vio afectada por la disminución del consumo en Estados Unidos (-1,2%) y la Unión Europea (-4,5%), que ocupan el primer y cuarto lugar

mundial, respectivamente, con consumos de 12,6 millones y 6,2 millones. de toneladas. En términos de producción, el total mundial alcanzó los 59,4 millones de toneladas, liderado por Estados Unidos con una participación del 20%, a pesar de una caída del 4,7%. Por su parte, la Unión Europea, con un aporte del 10,8%, también experimentó una reducción del 4,3%, mientras que Brasil y China destacaron con incrementos del 2% y 4,5%, respectivamente. En este contexto, los precios de los productos cárnicos bovinos en Estados Unidos aumentaron respecto al año anterior, reflejando las dinámicas del mercado. En el caso de filete el aumento fue de 21.2%, el de diezmillo 13.3%, el de bistec de pierna 10.7% y el de bistec de espaldilla 15.9%.

Figura 2
Consumo de carne de res



Nota. Obtenido de García 2024.

Técnicas de ablandamiento de carne

Para Rodríguez & Zambrano (2021) hay algunos métodos para mejorar la calidad de esta, los cuales ablandan el músculo mejorando así la textura de cualquier carne entre estos:

- **Estiramiento mecánico:** Se efectúa una serie de impactos de presión, ablandando el músculo al hacer que las células se separen al estirarse. Se rompe los tejidos elementales del músculo por medio de acciones mecánicas.

- **Extractos enzimáticos de frutas:** Se ablanda la carne por medio de enzimas de origen vegetal, pueden alterar las características organolépticas de la carne entre las principales están la papaína (papaína) bromelina (piña), ficina (higo) y actidina (kiwi).

- **Estimulación eléctrica:** Es la aplicación de corriente eléctrica en el animal recién sacrificado. Esto provoca la contracción de los músculos, previniendo el acortamiento excesivo de las fibras musculares cuando éstos entran en rigor mortis. Se ha demostrado que la EE incrementa la palatabilidad, mejora el color y la madurez de la carne.

Técnicas de ablandamiento de carne enzimáticas

Las enzimas, como catalizadores biológicos, regulan la velocidad de reacciones químicas sin alterarse durante el proceso. Su alta especificidad les permite transformar un único tipo de sustancia, lo que hace valiosas como aditivos en la industria alimentaria. Contribuyen a modificar la textura, apariencia, valor nutricional, aromas y sabores, además de reducir los tiempos de procesamiento. También tienen aplicaciones en envases activos y biosensores. En las reacciones catalíticas, las enzimas se combinan con el

sustrato formando un complejo que acelera la reacción; Cuanto mayor es su concentración, más rápido ocurre el proceso. (Callan & Carrera, 2022)

Los ablandadores de carne, para Moscoso (2022) compuestos principalmente por proteasas, rompen los filamentos musculares contraídos por la rigidez cadavérica y descomponen las triples hélices del colágeno. La suavidad del tejido conectivo depende del contenido de colágeno, el diámetro de las fibras perimisiales y el entrecruzamiento de las fibras de colágeno. Este comienza a degradarse entre 60 y 70 °C, convirtiéndose en gelatina a 80 °C, lo que contribuye al ablandamiento del tejido. Por ello, la ternura de cortes con alto contenido de colágeno está influenciada por el método de cocción y la temperatura alcanzada. Las enzimas proteasas o proteinasas hidrolizan el enlace peptídico de las proteínas. Existen proteasas comerciales de origen vegetal (papaína y bromelina). Las enzimas más utilizadas como ablandador de carne se detallan a continuación:

Tabla 1
Enzimas más utilizadas en la industria alimentaria

Enzimas	Fuente	pH	Temperatura (°C)
Ácidas	B. subtilis	6.0–8.5	20–55
	A. oryzae	4.0–7.5	20–50
	Rhizopus	-	-
Neutras	B. subtilis	7.0–8.0	20–50
	B. polymyxa	-	-
Alcalinas	Bacillos sp.	9.0–11.0	20–50
	Bromelina	4.0–9.0	20–65
	Papaína	6.0–8.0	20–75
	Ficina	6.5–7.0	25–60

Pepsina	1.5–4.0	–
Renina	3.5–6.0	40

Nota. Elaboración propia basada en Moscoso (2022).

La papaína y la bromelina

La papaína es una enzima proteasa de origen vegetal con alto valor biológico esta se encarga de desnaturalizar las proteínas que contiene la carne mediante cortes longitudinales de la corteza del fruto no maduro de la papaya el cual se encuentra en el látex y en la cáscara verde del fruto (Guacho, 2017). La papaína actúa eficazmente en un rango de pH entre 3 a 10. Hidrolizan enlaces peptídicos que involucran lisina y arginina. Degradan las fibras musculares de la carne, convirtiéndose en un ablandador eficaz. (Muñoz et al., 2019). Mientras que la bromelina es una glicoproteína su principal

METODOLOGÍA

La investigación se rige bajo el paradigma positivista, es experimental porque se manipulan las variables para determinar el efecto que causa la (bromelina y papaína) en el ablandamiento de carne de res, es de carácter aplicado y de enfoque mixto cualitativo y cuantitativo puesto que se recolectarán datos numéricos para las pruebas físicas – químicas y análisis estadísticos. Además, se empleó el análisis sensorial con un panel de 60 personas, esto permite establecer el grado de ternesa y la aceptación de cada una de las muestras de carne. El proceso investigativo se detalla a continuación:

uso es en el ablandamiento de las carnes. Asimismo, se aplica en otros casos como la hidrolización de proteínas solubles de la cerveza, panificación y la industria vinícola (Clavijo et al., 2019). Se extrae de la piña que es una fruta tropical proveniente de la familia de las bromeliáceas, la bromelina es una enzima que cataliza la hidrolisis de las proteínas mediante enlaces peptídicos, se establece funciones de centro activo y de su mecanismo de acción. (León & Romero, 2018) La bromelina posee una intensa actividad proteolítica en concentraciones de pH entre 3 y 8. (Maiti, et al., 2023) La bromelina hidroliza enlaces peptídicos que muestran una preferencia por secuencias con lisina, alanina y glicina. Es más activo en un rango de pH de 4,5 a 7,5. (Rubí & López, 2022)

1. La carne será seleccionada de forma uniforme considerando aspectos como: peso, tamaña y porciones. El corte deberá ser del mismo tamaño y pesar 500 gr. se trabajará con 5 biorreactores cada uno con la proporción 1/1 tanto de agua destilada como de carne, teniendo en cuenta el porcentaje de enzima que es 1% y 0,5%.
2. Los biorreactores se distribuyen de la siguiente manera:
 - Biorreactor 1 – Sin enzima código (R): 500 ml de agua y 500 gramos de carne
 - Biorreactor 2 – Papaína al 0,5% código (985): 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de papaína

es de 2,5 gramos en comparación al peso general.

- Biorreactor 3 – Papaína al 1% código (255): 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de papaína es de 5 gramos en comparación al peso general.

- Biorreactor 4 – Bromelina al 0,5% código (751): 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de bromelina es de 2,5 gramos en comparación al peso general.

- Biorreactor 5 – Bromelina al 1% código (654): 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de bromelina es de 5 gramos en comparación al peso general.

3. Se efectúa 1 réplicas con los porcentajes adecuados para la carne: Carne de res tratadas con la solución de papaína al 0.5%. Carne de res tratadas con la solución de papaína al 1%. Carne de res tratadas con la solución de bromelina al 0.5%. Carne de res tratadas con la solución de bromelina al 1%. Tratar la carne de res con agua destilada (sin enzima).

4. Se sumerge la carne en las soluciones respectivas dejándolo marinar

por un lapso estandarizado de (12 horas a 4°C). Agitando de forma periódica la solución para que la enzima se distribuya uniformemente.

5. Luego de las doce horas se filtra la carne. Se fríe con 100ml de aceite vegetal a una temperatura de 75°C por 15 minutos este proceso se realiza con cada muestra.

6. Se realiza el análisis sensorial con el panel de 60 degustadores para determinar el nivel de suavidad percibido respecto a cada proceso.

7. Se realiza el análisis microscópico para observar los cambios estructurales en las fibras musculares de las 7 réplicas de carne. Además, el análisis estadístico permite comparar los efectos de los tratamientos con papaína y bromelina en los parámetros medidos (Diseño experimental). la significación estadística de las diferentes replicas tratadas. Resaltando las diferencias entre las dos encimas. Los análisis que se efectuarán con tres réplicas representativas de 10 gr de cada muestra de carne, se añade 40 ml de agua destilada, se licúa y se determina el valor de pH, de conductividad y de sólidos totales para cada muestra.

RESULTADOS

Análisis sensorial. – Se realizará 2 prueba hedónicas a 60 personas con muestras de cada tratamiento para determinar la terneza de la carne y el grado de aceptabilidad de las diferentes muestras, mediante un test con una escalade valoración de 1 al 9 siendo el 1 el que denota la terneza de las

muestras en comparación con la muestra código R, que es la de control, sin enzimas 500 ml de agua y 500 gramos de carne. Código 985 papaína al 0,5%, 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de papaína es de 2,5 gramos en comparación al peso general. Código 255

papaína al 1%, 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de papaína es de 5 gramos en comparación al peso general. Código 751 bromelina al 0,5%, 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de bromelina es de 2,5 gramos en comparación al peso

general. Código 654 bromelina al 1%, 500 ml de agua y 500 gramos de carne, en donde el porcentaje de bromelina es de 5 gramos en comparación al peso general. A continuación, se detallan las respuestas obtenidas en la percepción sensorial 1 y 2 para cada muestra:

Tabla 1

Resultados análisis sensorial 1 y 2

Criterio de valoración	Escala de valoración	Análisis sensorial 1					Análisis sensorial 2				
		Papaína		Bromelina		R	Papaína		Bromelina		R
		0.5%	1%	0.5%	1%		0.5%	1%	0.5%	1%	
		985	255	751	654	985	255	751	654		
Extremadamente más tierna que r	1	1	0	3	7	8	2	1	4	10	8
Mucho más tierna que r	2	7	7	14	18	3	5	4	10	7	3
Moderadamente más tierna r	3	12	9	11	9	12	13	15	18	12	12
Ligeramente más tierna que r	4	9	14	8	9	16	16	15	16	14	16
Igual a r	5	11	9	7	4	13	10	15	8	7	13
Ligeramente menos tierna que r	6	8	6	10	4	4	10	6	2	4	4
Moderadamente menos tierna que r	7	4	5	4	5	2	2	1	2	3	2
Mucho menos tierna que r	8	3	9	2	3	1	1	3	0	2	1
Extremadamente menos tierna que r	9	5	1	1	1	1	1	0	0	1	1

En los análisis sensoriales realizados, se evaluaron cinco tratamientos de carne marinada, incluyendo una muestra de control sin enzimas (R) y cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de papaína (0.5% y 1%) y bromelina (0.5% y 1%). Los resultados reflejan cómo la percepción de la ternura varió entre los tratamientos.

- En el Análisis Sensorial 1, la muestra tratada con bromelina al 1% (654) fue consistentemente la más valorada como "Extremadamente más tierna que R" (7 observaciones) y "Mucho más tierna que R" (18 observaciones). Esto sugiere una clara

ventaja de la bromelina al 1% en la mejora de la ternura. Por otro lado, la muestra tratada con papaína al 1% (255) mostró una buena aceptación en niveles moderados, con 9 observaciones de "Moderadamente más tierna que R".

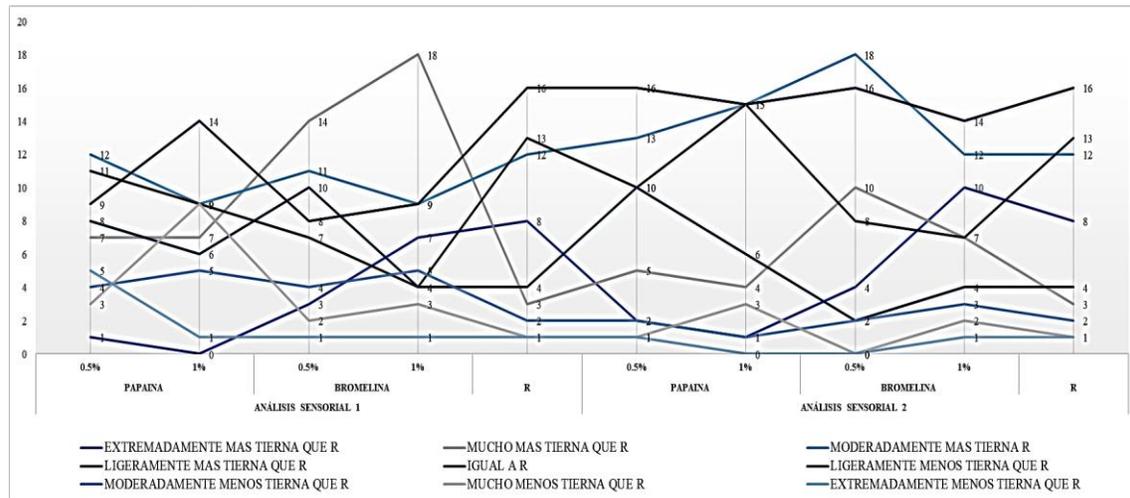
- En el Análisis Sensorial 2, se observó que nuevamente la bromelina al 1% (654) destacó como el tratamiento más aceptado, con 10 observaciones en la categoría "Extremadamente más tierna que R" y 7 en "Mucho más tierna que R". Además, la papaína al 0.5% (985) presentó una aceptación alta en las categorías de ternura

moderada, lo que refuerza su efectividad en concentraciones bajas.

El gráfico de líneas refleja las tendencias de percepción de ternura en cada tratamiento. En ambos análisis sensoriales, se observa que la bromelina al 1% (654) tiene los picos más altos en las categorías de mayor

ternura, destacándose claramente frente a los demás tratamientos. Por otro lado, la papaína al 1% (255) y al 0.5% (985) presentan curvas más equilibradas, indicando una aceptación más uniforme entre las categorías.

Figura 1
Representación gráfica del análisis sensorial 1 y 2



Para dar respaldo científico se desarrolló el cálculo de ANOVA. El análisis de varianza (ANOVA) hace posible evaluar si las diferencias observadas en los puntajes sensoriales entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Los aspectos más importantes del análisis son: Referente a los tratamientos la suma de cuadrados de 301,333 y un F-Ratio de 3.75 con un p-valor de 0.0056 indican que hay diferencias significativas entre los tratamientos en la percepción de ternura. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos con enzimas es más efectivo que los demás. En cuanto a los

consumidores obtienen una suma de cuadrados de 339,317 y un F-Ratio de 2.87, se concluye que las diferencias individuales entre los consumidores también afectan significativamente los puntajes sensoriales. El residual representa la variabilidad no explicada, con un valor de 473,467. Esto indica que aún existen factores no considerados en el modelo que influyen en la percepción sensorial. El p-valor < 0.05 tanto para los tratamientos como para los consumidores confirma que ambos factores son determinantes en la percepción de la ternura.

Tabla 2
ANOVA

Tabla ANOVA					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F-Ratio	p-valor
Muestra	665800	4.0	166450	654339	466921
Residual	750416	295.0	254378		
Tratamientos	301333	4	753333	3.75	0.0056
Consumidores	339317	59	575113	2.87	0.0000
Residual	473467	236	200621	-	-
Total	842917	299	-	-	-

(Corregido)

Nota. Los factores Tratamientos y Consumidores tienen un efecto significativo sobre la aceptabilidad ($p < 0.05$). Los valores F muestran que Consumidores tiene un mayor impacto que tratamientos.

Los puntajes sensoriales promedios muestran diferencias importantes entre los tratamientos: 985 (0.5% Papaína) obtuvo el puntaje promedio más alto (4.85), lo que sugiere que este tratamiento fue el mejor valorado en términos de ternura. 654 (1% Bromelina), con un promedio de 3.80, fue el tratamiento mejor valorado entre los de bromelina, destacándose por su capacidad de mejorar la ternura. Muestra de Control (R) tuvo un puntaje promedio de 3.75, ubicándose en un rango inferior en

comparación con los tratamientos enzimáticos, lo que confirma su limitada efectividad.

El tratamiento 985 (0.5% Papaína) también presentó la mayor desviación estándar (2.12), indicando que hubo mayor variabilidad en la percepción de su efecto entre los consumidores. En contraste, la muestra de control (R) tuvo la menor desviación estándar (0.65), lo que refleja evaluaciones más consistentes.

Tabla 3

Estadísticas descriptivas por tratamiento

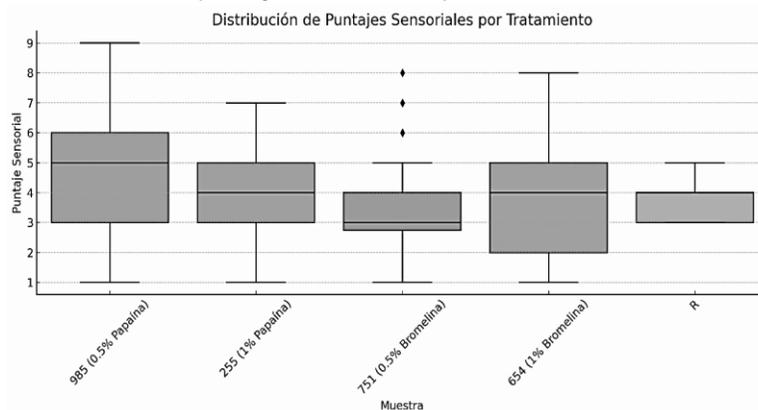
Estadísticas Descriptivas por Tratamiento								
	Puntaje_ Sensorial							
	count	Mean	std	min	25%	50%	75%	Max
Muestra								
255 (1% Papaína)	60.0	4.13	1383518 8	1.0	7	4.0	5.0	7.0
654 (1% Bromelina)	60.0	3.8	1866747 3	1.0	8	4.0	5.0	8.0
751 (0.5% Bromelina)	60.0	3.48	1545816 2	1.0	8	3.0	4.0	8.0

985 (0.5% Papaína)	60.0	4.85	2121919 5	1.0	9	5.0	6.0	9.0
R	60.0	3.75	0654191 1	3	5			

El gráfico de líneas que representa los puntajes promedio por tratamiento confirma que los tratamientos con papaína, especialmente al 0.5% (985), son los más efectivos para mejorar la ternura. Este tratamiento mantiene un puntaje superior constante, lo que lo diferencia significativamente de la muestra de control (R). Por otro lado, los tratamientos con bromelina, aunque efectivos, tienen

promedios ligeramente inferiores, lo que sugiere que su impacto depende en mayor medida de la concentración. La muestra de control tiene un desempeño consistente, pero bajo, reforzando la necesidad de enzimas para mejorar la ternura de la carne. Este gráfico destaca visualmente cómo la papaína y la bromelina, en diferentes concentraciones, influyen en la aceptación sensorial.

Figura 2
Distribución de puntajes sensoriales por tratamiento



Las medias de mínimos cuadrados muestran que los tratamientos 255 (1% Papaína) y 985 (0.5% Papaína) tienen las mayores medias de aceptabilidad, ambas con un valor de 426.667. Esto indica que los consumidores percibieron estas muestras como significativamente más tiernas. El tratamiento 654 (1% Bromelina) y 751 (0.5% Bromelina) tuvieron medias inferiores, pero aún dentro de los intervalos de confianza cercanos a la muestra de control. La

muestra de control (R), con una media de 390.000, se posiciona en un rango intermedio, siendo superada por los tratamientos con papaína. Los intervalos de confianza del 95% muestran que las medias de los tratamientos 255 (1% Papaína) y 985 (0.5% Papaína) no se solapan con las de los tratamientos con bromelina, lo que confirma diferencias estadísticamente significativas en la percepción de la ternura.

Tabla 4

Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95%

Tabla de Medias de Mínimos Cuadrados e Intervalos de Confianza al 95%					
Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media Total	300	391.667	-	-	-
Tratamientos					
255 (1% Papaína)	60	426.667	0.182858	390.642	462.691
654 (1% Bromelina)	60	368.333	0.182858	332.309	404.358
751 (0.5% Bromelina)	60	346.667	0.182858	310.642	382.691
985 (0.5% Papaína)	60	426.667	0.182858	390.642	462.691
R	60	390.000	0.182858	353.976	426.024

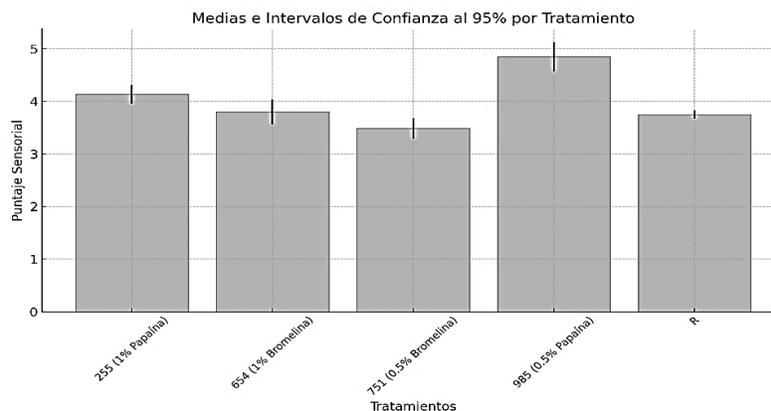
Nota. Los tratamientos 255 y 985 tienen las medias más altas de aceptabilidad.

El gráfico de barras ilustra claramente las diferencias en las medias y los intervalos de confianza. Los tratamientos con papaína tienen los valores más altos y consistentes, destacándose como las opciones más efectivas. Los tratamientos con bromelina

presentan valores menores, aunque aún superan al control en algunas métricas. Este análisis confirma que la papaína es más eficiente en mejorar la ternura de la carne, especialmente en concentraciones del 0.5% y 1%.

Figura 3

Medias de mínimos cuadrados e intervalos de confianza al 95% por tratamiento



Los resultados de la prueba de Tukey destacan las diferencias entre tratamientos

en términos de ternura percibida. En particular, las comparaciones entre 654 (1%

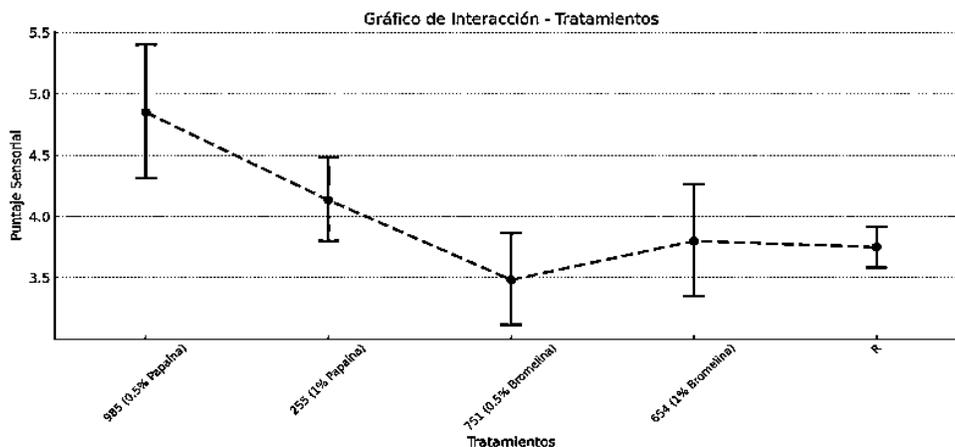
Bromelina) y 985 (0.5% Papaína), así como entre 751 (0.5% Bromelina) y 985 (0.5% Papaína), muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Esto indica que la bromelina al 1% y la papaína al 0.5% son tratamientos

notablemente diferentes en su impacto sobre la ternura. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre otros tratamientos, lo que sugiere similitudes en su percepción sensorial.

Tabla 5
Resultados prueba de Tukey

Resultados Prueba de Tukey							
	Group1	Group2	Meandiff	P-adj	Lower	Upper	Reject
1	255 (1% Papaína)	654 (1% Bromelina)	-0.3333	0.7825	-11.326	0.4659	False
2	255 (1% Papaína)	751 (0.5% Bromelina)	-0.65	0.1708	-14.492	0.1492	False
3	255 (1% Papaína)	985 (0.5% Papaína)	0.7167	0.1025	-0.0826	15.159	False
4	255 (1% Papaína)	R	-0.3833	0.6812	-11.826	0.4159	False
5	654 (1% Bromelina)	751 (0.5% Bromelina)	-0.3167	0.8129	-11.159	0.4826	False
6	654 (1% Bromelina)	985 (0.5% Papaína)	1.05	0.0033	0.2508	18.492	True
7	654 (1% Bromelina)	R	-0.05	0.9998	-0.8492	0.7492	False
8	751 (0.5% Bromelina)	985 (0.5% Papaína)	13.667	0.0	0.5674	21.659	True
9	751 (0.5% Bromelina)	R	0.2667	0.8907	-0.5326	10.659	False
10	985 (0.5% Papaína)	R	-1.1	0.0018	-18.992	-0.3008	True

Figura 4
Gráfico de interacción de tratamientos



La tabla de comparaciones múltiples clasifica los tratamientos en grupos

homogéneos según su efectividad en mejorar la ternura. Los tratamientos con

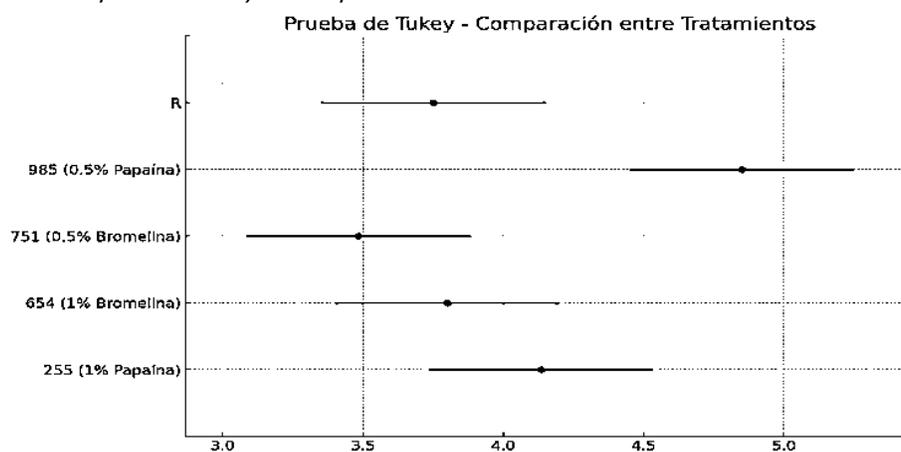
985 (0.5% Papaína) y 255 (1% Papaína) destacan en el grupo superior (B), indicando una mayor aceptación. En cambio, 751 (0.5% Bromelina) y 654 (1% Bromelina) comparten el grupo intermedio (A y AB),

mientras que la muestra de control (R) se ubica en un rango bajo, mostrando menor efectividad. Estas comparaciones confirman que la papaína tiene un impacto superior en mejorar la ternura.

Tabla 6
Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey)

Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey)			
Método: Tukey HSD al 95.0%			
Comparación	Diferencia Media	p-valor	Grupos Homogéneos
751 vs 654	-0.21667	0.8129	A
654 vs R	-0.21667	0.7825	AB
751 vs 255	-0.8	0.1708	AB
985 vs 255	0.0	10.000	B
751 vs 985	-0.7167	0.1025	AB
654 vs 255	-0.3333	0.7825	A
985 vs R	-1.1	0.0018	A
R vs 751	0.2667	0.8907	AB
654 vs 985	1.05	0.0033	B
255 vs 654	0.3833	0.6812	A

Figura 5
Gráfico prueba Tukey – Comparación entre tratamientos



Análisis físico químico. – La tabla muestra los valores obtenidos para los elementos físicoquímicos en las muestras analizadas. Los principales datos son: El pH de la

muestra 255 (1% Papaína) es el más alto, lo que podría influir en la percepción sensorial. Los sólidos totales son mayores en la muestra 985 (0.5% Papaína), indicando

una posible mejora en la retención de líquidos. Las proteínas presentan un valor más elevado en la muestra de control (R), mientras que las muestras tratadas tienen ligeras disminuciones. La muestra 751 (0.5% Bromelina) tiene el mayor contenido

de grasas, mientras que 985 (0.5% Papaína) presenta el menor. En cuanto a cenizas, la muestra 985 (0.5% Papaína) tiene un contenido significativamente mayor, lo que refleja un posible enriquecimiento mineral.

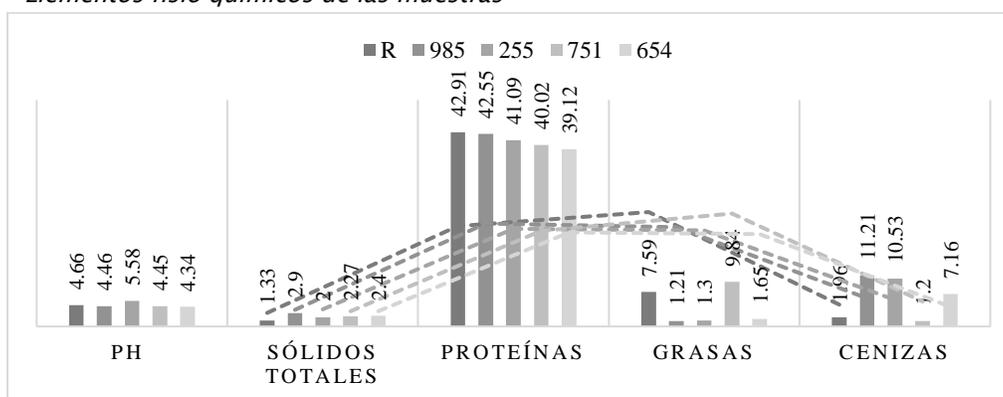
Tabla 7
Elementos físico químicos de las muestras

Valoración de elementos físico químicos de las muestras					
Criterio	R	985	255	751	654
PH	4.66	4.46	5.58	4.45	4.34
Sólidos totales	1.33	2.90	2.00	2.27	2.40
Proteínas	42.91	42.55	41.09	40.02	39.12
Grasas	7.59	1.21	1.30	9.84	1.65
Cenizas	1.96	11.21	10.53	1.20	7.16

La figura refleja las variaciones entre las muestras en cada criterio físico-químico. Las diferencias más marcadas se observan en el contenido de grasas y cenizas, lo que

sugiere que las enzimas utilizadas pueden alterar significativamente estos componentes.

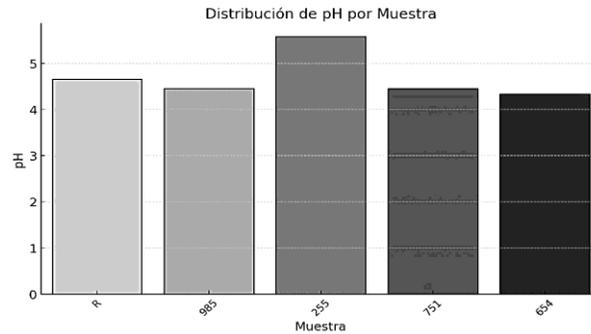
Figura 6
Elementos físico químicos de las muestras



La figura del pH muestra que la muestra 255 (1% Papaína) tiene el valor más alto, lo que podría influir en la ternura y estabilidad del producto. Las muestras con bromelina y

papaína al 0.5% presentan valores más cercanos al rango ácido, lo que podría mejorar la conservación.

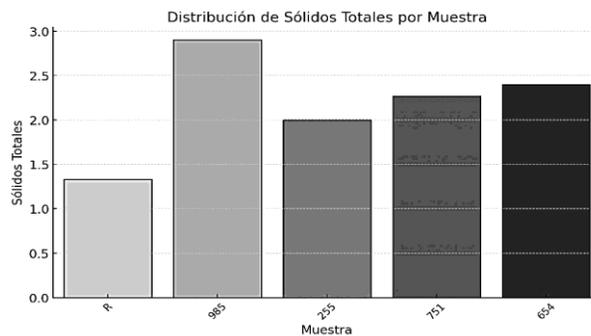
Figura 7
Distribución de pH por muestra



Los sólidos totales son más altos en la muestra 985 (0.5% Papaína), lo que indica una mayor concentración de componentes sólidos

retenidos. Esto puede contribuir a una textura más compacta y menos pérdida de agua.

Figura 8
Distribución de sólidos totales por muestra



La muestra 985 (0.5% Papaína) tiene un contenido de cenizas significativamente mayor, lo que podría estar relacionado con la extracción de minerales durante el proceso enzimático. La

muestra 751 (0.5% Bromelina), en cambio, muestra el contenido más bajo, indicando menor impacto en este criterio.

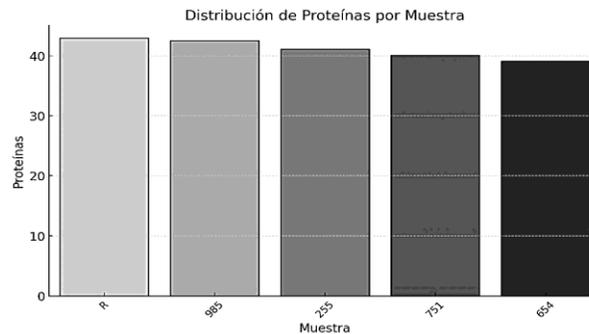
Figura 9
Distribución de cenizas por muestra



La muestra de control (R) presenta la mayor cantidad de proteínas, posiblemente debido a la ausencia de tratamientos enzimáticos. Los tratamientos con papaína

y bromelina muestran ligeras reducciones, lo que sugiere una posible acción proteolítica.

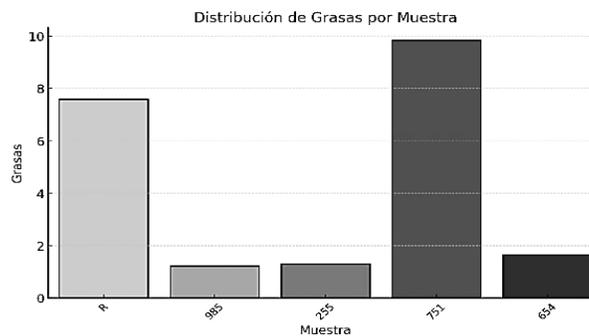
Figura 10
Distribución de proteínas por muestra



La muestra 751 (0.5% Bromelina) tiene el mayor contenido de grasas, posiblemente debido a una menor acción de descomposición de la enzima. Por otro

lado, 985 (0.5% Papaína) presenta el menor contenido, lo que puede atribuirse a un mayor impacto de la papaína en la descomposición lipídica.

Figura 11
Distribución de grasas por muestra



Para determinar la muestra más idónea de acuerdo a los elementos fisicoquímicos se desarrolló un análisis multicriterio, de puntajes compuestos. Los puntajes compuestos combinan los valores normalizados de los elementos fisicoquímicos, proporcionando una visión

general de cuál muestra tiene el mejor desempeño global. A continuación, el análisis por muestra: 985 (0.5% Papaína) tiene el puntaje compuesto más alto (0.76164), destacándose por su excelente desempeño en sólidos totales, proteínas y cenizas. Esto sugiere que este tratamiento

equilibra los diferentes criterios de manera óptima. 654 (1% Bromelina) ocupa el segundo lugar (0.60702) gracias a su excelente contenido de cenizas y sólidos totales, aunque su bajo nivel de proteínas afecta su puntaje final. La muestra de control (R) tiene un puntaje intermedio (0.58534), destacando en proteínas y pH,

pero con un pobre desempeño en sólidos totales. 751 (0.5% Bromelina) muestra un desempeño moderado (0.54949) con un excelente pH, pero bajos resultados en sólidos totales y proteínas. 255 (1% Papaína) tiene el puntaje más bajo (0.40080), afectada principalmente por su pobre desempeño en cenizas y proteínas.

Tabla 8

Puntajes compuestos por criterio físico químico y muestra

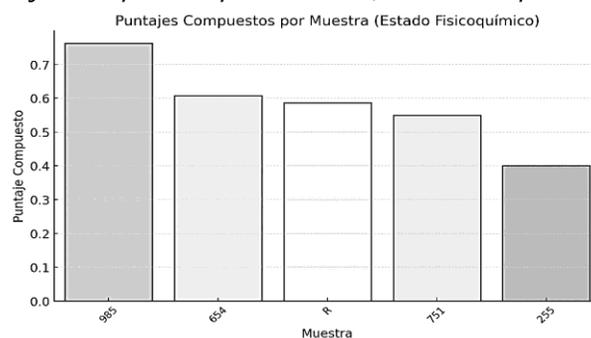
Puntajes Compuestos por Criterio y Muestra							
N	Muestra	Ph Normalizado	Sólidos Totales Normalizado	Proteínas Normalizado	Grasas Normalizado	Cenizas Normalizado	Puntaje compuesto
1	R	0.92407	0.26071	1.0	0.0	0.74193	0.58534
2	985	0.0	1.0	0.90501	1.0	0.90322	0.76164
3	255	0.06793	0.98957	0.51978	0.42675	0.0	0.40080
4	751	1.0	0.0	0.23746	0.59872	0.59872	0.54949
5	654	0.40459	0.94901	0.0	0.68152	1.0	0.60702

La figura de puntajes compuestos refleja visualmente cómo cada muestra combina los diferentes elementos fisicoquímicos: 985 (0.5% Papaína) lidera claramente, destacándose como el tratamiento más equilibrado y efectivo. 654 (1% Bromelina) y la muestra de control (R) presentan

desempeños intermedios, siendo opciones aceptables, pero menos consistentes. Las muestras 751 (0.5% Bromelina) y 255 (1% Papaína) muestran desempeños más bajos, reflejando debilidades específicas en ciertos criterios.

Figura 12

Puntajes compuestos por muestra (estado fisicoquímico)



DISCUSIÓN

Los análisis realizados revelan que la muestra 985 (0.5% Papaína) se destacó como la más idónea, logrando un equilibrio óptimo entre terneza percibida y características fisicoquímicas. En las pruebas sensoriales, esta muestra obtuvo consistentemente los puntajes más altos en las categorías de mayor aceptación, como "Extremadamente más tierna" y "Mucho más tierna", superando a los demás tratamientos. Este resultado refuerza la efectividad de la papaína al 0.5% para mejorar la ternura de la carne sin comprometer su aceptación por parte de los consumidores.

Por otro lado, en los análisis fisicoquímicos, la muestra 985 también demostró un desempeño sobresaliente. Su alto contenido de sólidos totales y cenizas, combinado con un balance adecuado en proteínas y grasas, sugiere que este tratamiento no solo mejora la textura de la carne, sino que también contribuye a su estabilidad y calidad general. Estas propiedades se tradujeron en un puntaje compuesto significativamente mayor, lo que respalda su efectividad en comparación con otros tratamientos.

El análisis estadístico, mediante ANOVA y pruebas de Tukey, validó las diferencias significativas observadas entre los tratamientos. Los resultados confirmaron que la muestra 985 (0.5% Papaína) es consistentemente superior en percepción sensorial de terneza, consolidándola como

una opción destacada para mejorar la calidad de la carne. Además, su desempeño uniforme en diferentes pruebas resalta su capacidad para mantener un impacto constante, un atributo valioso en aplicaciones comerciales.

En comparación con los tratamientos con bromelina, aunque también efectivos, la papaína al 0.5% mostró un desempeño más consistente y equilibrado. Los tratamientos con bromelina, especialmente al 1% (muestra 654), demostraron capacidad para mejorar la ternura, pero con menor aceptación en otras métricas como el contenido de proteínas y sólidos totales. Esto sugiere que la papaína no solo influye positivamente en la textura, sino que también contribuye a mejorar otros aspectos clave de la calidad de la carne.

Finalmente, el desempeño inferior de la muestra de control (R) frente a los tratamientos enzimáticos confirma la necesidad de emplear enzimas como la papaína para optimizar la calidad de la carne. La muestra 985 no solo logró la mayor aceptación en las pruebas sensoriales, sino que también mantuvo un perfil fisicoquímico sobresaliente, posicionándose como la mejor opción para mejorar la terneza y la calidad global de la carne de res. Este tratamiento se establece como la alternativa más eficiente, tanto para aplicaciones comerciales como en términos de satisfacción del consumidor.

CONCLUSIÓN

El tratamiento con 985 (0.5% Papaína) demostró ser el más efectivo en los análisis sensoriales, obteniendo los puntajes más altos en las categorías de mayor ternura y mostrando una consistencia notable en ambas evaluaciones. Esto confirma que la papaína, en esta concentración, es altamente eficiente para mejorar la percepción de calidad en la carne.

Desde un enfoque fisicoquímico, la muestra 985 (0.5% Papaína) presentó un desempeño sobresaliente, con un equilibrio óptimo en sólidos totales, proteínas y cenizas. Estos

resultados reflejan su capacidad para preservar la calidad estructural y nutricional del producto, destacándose frente a los demás tratamientos.

La integración de pruebas estadísticas, como ANOVA y Tukey, respalda la superioridad del tratamiento con papaína al 0.5%, identificándolo como el más adecuado para optimizar tanto la aceptación sensorial como las propiedades fisicoquímicas. Esto lo convierte en la mejor opción para mejorar la calidad global del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Flores, Areli, y otros. «La bromelina y su aplicación terapéutica antiinflamatoria en humanos: una revisión de alcance.» *Nutrición clínica y dietética hospitalaria* 43, n° 2 (2023): 115–122.
- Badui Dergal, Salvador. *Química de los alimentos*. Editado por Enrique Quintanar Duarte. México: Pearson Educación, 2021.
- Callán Ochoa, Erika Patricia, y Valeria Betzilen Carrera Guevara. «Elaboración de un aditivo natural mediante la extracción de enzimas del kiwi verde (*Actinidia deliciosa*) y de piña hawaiana (*Ananas comosus*) por el método de precipitación alcohólica, para el ablandamiento de carne de res.» Vers. Tesis de Maestría. Universidad Estatal de Bolívar. 2022. <https://dspace.ueb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7e47f0d5-0fdc-4228-9749-eafe739310d2/content>.
- Clavijo, Diego, Maghdriel Portilla, y Alfonso Quijano. «C inética y extracción de la bromelina obtenida apartir de la piña (*ananas comosus*) proveniente de Lebrija-Santander.» *@LIMENTECH* 10, n° 1 (2019): 28–37.
- Díaz Almanza, Sergio. «Aplicación de ultrasonido de alta y baja intensidad en la caracterización de las propiedades acústicas y texturales de la carne de bovino y el efecto sobre calidad de los productos cárnicos.» Vers. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Chihuahua. 2020.

- <http://repositorio.uach.mx/315/1/Tesis.pdf>.
- García , Guillermina. Consumo de carne en el mundo, el compendio estadístico de COMECARNE. 2024. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/consumo-de-carne-en-el-mundo-el-compendio-estadistico-de-comecarne/>.
- Guacho Ayala, Anthony Steve. «Propuesta de aplicación de las enzimas de la piña y la papaya como ablandadores naturales de la carne de res y cerdo en recetas innovadoras de sal.» Universidad de Cuenca. 2017. <https://es.scribd.com/document/642894519/ABLANDADORES-DE-PAPAINA-Y-BROMELINA>.
- León Sánchez, Margarita, y Astrid Romero Torres. «Propuesta de elaboración de un ablandador de carne a base de cascara de piña (Ananas comusus) para su aplicación como un condimento alto en enzimas y especias. .» Universidad de Guayaquil. 2018. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/30a37705-239e-454a-ae93-67ae730625ef/content>.
- Maiti, A, S Ahlawat, D Sharma, y N Khanna. «Application of natural tenderizers in meat – a review.» *Agric. Rev* 29, n° 3 (2019): 226–230.
- Moscoso Altamirano, Zenaida. «Efecto del látex en polvo de higo (Ficus carica L.) en el ablandamiento de carne bovino.» Vers. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional José María Arguedas. 2022. https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/656/Zenaida_Tesis_Bachiller_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Muñoz Murillo, José Patricio, María Isabel Zambrano Vélez, Ramona Cecilia Párraga Álava, y Cristhian Darío Verduga López. «Uso de papaína y bromelina y su efecto en las características organolépticas y bromatológicas de.» *RECUS Revista Electrónica Cooperación – Universidad Sociedad* 4, n° 2 (2019): 38–42.
- Rivera Leyva, Ana Beatriz. «Utilización de enzimas proteolíticas semipurificadas de aguama (Bromelia pinguin L.) para la producción de hidrolizados proteínicos con actividad antioxidante.» Vers. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Sinaloa. 2020. <http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/tesinas/ANA%20BETARIZ%20RIVERA%20LEYVA-%20TESIS%20MCA%20UPSIN.pdf>.
- Rodríguez Pincay, Lady Tatiana, y Yaritza Mishell Zambrano Zambrano. «Evaluación del tiempo y porcentaje de los extractos enzimáticos naturales "bromelina y papaína" como ablandadores del músculo.» Vers. Tesis de Ingeniería. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de

Manabí Manuel Félix López. 2021.
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1554/1/TTAI21D.pdf>.

Rubí Darce , José Antonio, y Selthon Bismark López Urbina. «Efecto de un ablandador de piña (Ananas comosus) monte lirio en la terneza de cortes de carne bovina a escala de laboratorio en la UNA Managua durante julio–noviembre 2021 .» Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. 2022.
<https://repositorio.una.edu.ni/4495/1/tnq04r896.pdf>.

Statista. Volumen de carne consumida a nivel mundial de 1990 a 2023, por tipo de carne. 2023.
<https://es.statista.com/estadisticas/1330024/consumo-de-carne-a-nivel-mundial-por-tipo/#:~:text=El%20consumo%20mundial%20de%20carne,135%2C5%20millones%20en%202023.>