



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

EFECTO DE NISINA COMO BIOCONSERVADOR SOBRE LA MICROBIOTA DEL CHORIZO MEXICANO Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

MARTIN JAUREGUI FUENTES

Bajo la supervisión de: EMMANUEL FLORES GIRÓN, DR.



Chapingo, Estado de México, septiembre de 2026.

**EFFECTO DE NISINA COMO BIOCONSERVADOR SOBRE LA MICROBIOTA
DEL CHORIZO MEXICANO Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA**

Tesis realizada por MARTIN JAUREGUI FUENTES, bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

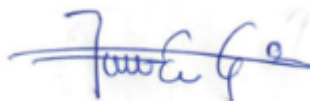
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR:



DR. EMMANUEL FLORES GIRÓN

ASESOR:



DR. ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA

ASESOR:



Ph.D. GERARDO MÉNDEZ ZAMORA

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	14
1.1. Literatura citada	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. El Chorizo Tradicional Mexicano	17
2.1.1. Definición y tipificación regional	17
2.1.2. Cinética de maduración y fenómenos fisicoquímicos en embutidos crudos	20
2.1.3. Microbiota asociada, deterioro y riesgos a la salud pública ...	22
2.2. La Paradoja de los Nitritos y el Paradigma del <i>Clean Label</i>	24
2.2.1. Sales de cura sintéticas (nitratos y nitritos) en la industria cárnica	24
2.2.2. La tendencia global <i>Clean Label</i> y el consumo de alimentos más naturales	25
2.2.3. Bioconservación en matrices cárnicas	27
2.3. Producción y aplicación biotecnológica de la Nisina	28
2.3.1. Naturaleza bioquímica de la nisina	28

2.3.2.	Mecanismo biomolecular de acción antimicrobiana.....	29
2.3.3.	Espectro de inhibición y aplicación en matrices cárnicas	30
2.3.4.	Estatus regulatorio y desafíos tecnológicos	31
2.4.	Evaluación Sensorial Afectiva y Diagnósticos en la Reformulación de Cárnicos	31
2.4.1.	La Escala Just About Right (JAR)	32
2.5.	Fundamentos de Economía del Consumo y Experimentos de Elección Discreta (EED)	34
2.5.1.	Marco teórico de la elección del consumidor	34
2.5.2.	Metodología de los Experimentos de Elección Discreta (EED).....	36
2.5.3.	Estimación de la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg):	37
2.5.4.	Sesgos de muestreo y canal de recolección de información .	37
2.6.	Literatura citada	38
3.	EVALUACIÓN DE LAS PREFERENCIAS Y DISPOSICIÓN A PAGAR DEL CONSUMIDOR POR CHORIZO MEXICANO FORMULADO CON CONSERVADORES NATURALES	43
3.1.	Resumen.....	43
3.2.	Abstract	44
3.3.	Introducción	45
3.4.	Materiales y Métodos.....	46
3.4.1.	Experimento de Elección Discreta (EED)	46
3.4.2.	Diseño Experimental	47
3.4.3.	Muestreo y Trabajo de Campo	49
3.4.4.	Especificación Econométrica	51
3.4.5.	Validación Econométrica y Estadística Inferencial	53

3.5.	Resultados y Discusión	53
3.5.1.	Muestreo y Trabajo de Campo	53
3.5.2.	Especificación Econométrica	55
3.5.3.	Validación Econométrica y Estadística Inferencial	57
3.6.	Conclusiones	63
3.7.	Literatura Citada	64
4.	EFFECTO DE LA NISINA SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA, FISICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DEL CHORIZO MEXICANO.....	67
4.1.	Resumen.....	67
4.2.	Abstract	68
4.3.	Introducción	69
4.4.	Materiales y métodos	70
4.4.1.	Formulación del chorizo de cerdo	70
4.4.2.	Análisis bromatológico proximal	74
4.4.3.	Determinaciones fisicoquímicas.....	77
4.4.4.	Pruebas microbiológicas y cinética	79
4.5.	Resultados y discusión.....	84
4.5.1.	Análisis bromatológico proximal	84
4.5.2.	Determinaciones fisicoquímicas.....	86
4.5.3.	Pruebas microbiológicas.....	88
4.6.	Conclusiones	93
4.7.	Literatura citada.....	94
5.	EVALUACIÓN SENSORIAL Y AFECTIVA DE CHORIZO MEXICANO CON BIOCONSERVADOR NISINA.....	97

5.1. Resumen.....	97
5.2. Abstact.....	98
5.3. Introducción	99
5.4. Materiales y métodos	100
5.4.1. Selección y Preparación del Panel Evaluador	101
5.4.2. Preparación y Presentación de las Muestras	102
5.4.3. Diseño de la Boleta Sensorial	102
5.4.4. Diseño y Análisis Estadístico.....	103
5.5. Resultados y discusión.....	104
5.5.1. Selección y Preparación del Panel Evaluador	104
5.5.2. Aceptabilidad Global.....	104
5.5.3. Diagnóstico de Adecuación JAR (Just-About-Right).....	106
5.5.4. Análisis de Penalización (Penalty Analysis)	107
5.6. Conclusiones	109
5.7. Literatura citada.....	110
6. CONCLUSIÓN GENERAL	112
7. ANEXOS.....	114

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición bromatológica del chorizo de cerdo	19
Cuadro 2. Atributos y niveles del experimento de elección discreta.....	47
Cuadro 3. Combinaciones de atributos y niveles	48
Cuadro 4. Estimación del Modelo Logit Multinomial para el modelo presencial56	
Cuadro 5. Resultado de la estimación del modelo logit multinomial del modelo en línea.	57
Cuadro 6. Disposición a pagar marginal del modelo presencial.....	62
Cuadro 7. Disposición a pagar marginal del modelo en línea.	62
Cuadro 8. Formulación y estandarización del chorizo mexicano	70
Cuadro 9. Composición proximal (% base seca) del chorizo de cerdo adicionado con nisina al día 5 de oreado.	84
Cuadro 10. Actividad de agua (aw) a través del tiempo de oreado	86
Cuadro 11. Potencial de hidrógeno (pH) a través del tiempo de oreado	87
Cuadro 12. Evaluación microbiológica de Bacterias ácido-lácticas (Log10 UFC/g) durante el tiempo de oreado	89
Cuadro 13. Evaluación microbiológica de Bacterias mesófilas aerobias (Log10 UFC/g) durante el tiempo de oreado.....	91
Cuadro 14. Evaluación microbiológica de coliformes totales (Log10 UFC/g) durante el oreo.....	92
Cuadro 15. Evaluación microbiológica de microorganismos indicadores (Log10 UFC/g) durante el tiempo de oreado.....	101
Cuadro 16. Análisis de penalizaciones (Penalty Analysis / Mean Drop) sobre la Aceptabilidad Global de los atributos sensoriales del chorizo de cerdo al Día 5 de maduración.	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura tridimensional de la nisina producida por <i>Lactococcus lactis</i>	29
Figura 2. Modelo que muestra el mecanismo de acción dual de la nisina producida por <i>Lactococcus lactis</i>	30
Figura 3. Ejemplo de conjunto de tarjetas en línea (izquierda) y presencial (derecha)	49
Figura 4. Características socioeconómicas, demográficas y de consumo de los encuestados de manera presencial.	54
Figura 5. Características socioeconómicas, demográficas y de consumo de los encuestados de manera en línea.....	55
Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de chorizo mexicano.....	72
Figura 7. Cinética microbiana: Bacterias ácido-lácticas (BAL).....	89
Figura 8. Cinética microbiana: Bacterias mesófilas aerobias	91
Figura 9. Cinética microbiana: Bacterias coliformes totales	93
Figura 10. Evaluación del nivel de adecuación ideal (JAR) para la Muestra Control sin nisina por kilogramo.....	106
Figura 11. Evaluación del nivel de adecuación ideal (JAR) para la Muestra con 25mg de nisina por kilogramo	107

DEDICATORIAS

A mi padre, Margarito Jauregui Ameca, cuya vida misma ha sido el faro y la guía de mi camino. Por enseñarme el valor de la tierra y la generosidad de lo que produce, por inculcarme la visión de pensar en grande y el compromiso de servir a la sociedad.

En memoria de mi madre, a quien no tengo la fortuna de guardar en mi recuerdo, pero a quien llevo arraigada en el alma. Sé con certeza que, desde donde la luz la abraza, observa con orgullo quien soy.

A mi hermano, Fernando Jauregui Fuentes, compañero incondicional de vida. Gracias por ser mi soporte y la fuerza compartida para conquistar cada meta y reto que nos proponemos. Este logro también lleva tu nombre.

A mi abuela, Josefa Ameca Olivarez, quien con amor infinito asumió el papel de madre desde que la vida así lo dispuso. A ella debo una parte de mi esencia; en mi vocación habita su conocimiento ancestral y en cada alimento que transformo está vivo el amor por los alimentos que me heredó.

A mis abuelos maternos Teresa y Cristóbal y a mi tía Mariana, por sus palabras y consejos desde siempre, su admiración sincera hacia mi trabajo y la calidez de un apoyo que jamás me ha faltado.

A mi ahijado, Jesús Yair Sánchez Flores, a quien entrego este esfuerzo como testimonio de que no hay meta inalcanzable cuando hay disciplina y pasión. Deseo que mi camino sea para él la prueba de que los sueños se conquistan.

A mis amigos y compañeros de camino académico, por las horas compartidas, las reflexiones, el crecimiento mutuo y por convertirse en parte fundamental de mi vida y de este proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo económico otorgado pilar fundamental para la tranquilidad y el desarrollo de mis estudios de maestría.

A mi querida Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria (PCyTA), por abrirme nuevamente sus puertas, brindarme un espacio de formación integral y otorgarme las facilidades económicas, espacios e instrumentos indispensables para llevar a cabo esta investigación.

A mi tutor y director de tesis, el Dr. Emmanuel Flores Girón, por su guía, sus conocimientos y consejos compartidos; por ser un gran mentor. De manera muy especial, le agradezco por la oportunidad única de extender mis horizontes, explorar la investigación y gestionar los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

A los integrantes de mi comité asesor, el Dr. Anastacio Espejel García y el PhD. Gerardo Méndez Zamora, mi más sincero reconocimiento. Gracias por su tiempo, su confianza y por compartir su amplia experiencia; sus observaciones oportunas y acompañamiento fueron fundamentales para dar rigor y forma a este trabajo.

Asimismo, expreso mi gratitud a mis colegas Yasmín Miguel S. y Jessica Marcos T., por su valioso apoyo y asesoría en diversas etapas de este proyecto.

Y muy especialmente a Josselin Osorio Mejía, quien formó parte significativa y fundamental de esta travesía y a quien considero una verdadera amiga. Gracias por tu confianza, por el trabajo en equipo, por las horas compartidas y por motivarme. Fue un honor coincidir y crecer a tu lado durante este periodo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales:

Nombre: Martin Jauregui Fuentes

Fecha de nacimiento: 24 de octubre de 1999

Lugar de nacimiento: Córdoba, Veracruz

No. Cartilla de servicio
militar: D-7380814

CURP: JAFM991024HVZRRNR05

Profesión: Ingeniero Agroindustrial

Cédula profesional: 14112015



Desarrollo académico:

Preparatoria: Telebachillerato San José Tenejapa, Tepatlaxco,
Veracruz

Licenciatura: Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma
Chapingo

RESUMEN GENERAL

El chorizo de cerdo mexicano es un embutido tradicional de alta relevancia cultural y económica cuya elaboración enfrenta retos de inocuidad y una creciente demanda por productos de etiqueta limpia (*Clean Label*). El objetivo de esta investigación fue evaluar la factibilidad socioeconómica y tecnológica del uso de conservadores naturales en el chorizo tradicional mexicano, combinando herramientas para evaluar las preferencias del consumidor con una caracterización experimental del bioconservador nisina.

El estudio de consumidores, mediante experimentos de elección discreta ($n = 419$) analizados con un modelo logit multinomial; se identificó que el tipo de conservador fue el atributo determinante en la decisión de compra. La disposición a pagar (DAP) marginal por conservadores naturales alcanzó \$363.00 MXN/kg en encuestas presenciales y \$438.00 MXN/kg en línea, valorando además el proceso artesanal y el origen regional.

En la fase experimental, se evaluó la adición de nisina (12.5 y 25.0 mg/kg) durante 9 días de oreado. La dosis de 25.0 mg/kg ejerció un control microbiológico eficiente sobre microorganismos deterioradores y coliformes totales, mitigando la sobre-acidificación sin afectar la microbiota benéfica. Fisicoquímicamente, reguló el descenso del pH y mantuvo la estabilidad de la actividad de agua (a_w) y de la emulsión, sin alterar la composición bromatológica al Día 5. Sensorialmente ($N = 100$), la nisina no afectó la Aceptabilidad Global ($p = 0.172$), con puntajes de "Me gusta moderadamente" y satisfacción $> 70\%$ en acidez y aroma.

Finalmente se muestra que existe un mercado dispuesto a remunerar productos *Clean Label* y que la nisina es una alternativa tecnológicamente viable y sanitariamente segura. En sinergia con los carotenoides y compuestos fenólicos de las especias tradicionales, la nisina asume la barrera microbiológica contra bacterias Gram⁺ y esporuladas, ofreciendo una solución integral para sustituir las sales de cura sintéticas sin comprometer la calidad sensorial del embutido.

Palabras clave: Modelación econométrica, Inocuidad alimentaria, Cinética de acidificación, Análisis de penalizaciones, Actividad antimicrobiana.

Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Martín Jauregui Fuentes

Director de tesis: Dr. Emmanuel Flores Girón

GENERAL ABSTRACT

Mexican pork chorizo is a cured sausage of high cultural and economic relevance whose production faces safety challenges and a growing demand for clean-label products. The objective of this research was to evaluate the socioeconomic and technological feasibility of using natural preservatives in traditional Mexican chorizo, combining tools to assess consumer preferences with an experimental characterization of the biopreservative nisin.

The consumer study, conducted through discrete choice experiments ($n = 419$) analyzed with a multinomial logit model, identified that the type of preservative was the determining attribute in the purchasing decision. The marginal willingness to pay (WTP) for natural preservatives reached \$363.00 MXN/kg in face-to-face surveys and \$438.00 MXN/kg online, while also valuing the artisanal process and regional origin.

In the experimental phase, the addition of nisin (12.5 mg/kg and 25 mg/kg) was evaluated over 9 days of air-drying. The 25 mg/kg dose exerted efficient microbiological control over spoilage microorganisms and total coliforms, mitigating over-acidification without affecting beneficial microbiota. Physicochemically, it regulated the decrease in pH and maintained the stability of water activity (a_w) and emulsion, without altering the bromatological composition by Day 5. Sensorially ($n = 100$), nisin did not affect Global Acceptability ($p > 0.05$), receiving scores of "Like moderately" and a satisfaction level of $\geq 70\%$ in acidity and aroma.

Finally, it is shown that a market exists willing to pay a premium for Clean Label products, and that nisin represents a technologically viable and microbiologically safe alternative. In synergy with the carotenoids and phenolic compounds of traditional spices, nisin acts as the microbiological barrier against Gram-positive and spore-forming bacteria, offering a comprehensive solution to substitute synthetic curing salts without compromising the sensory quality of the sausage.

Keywords: Econometric modeling, Food safety, Acidification kinetics, Penalty analysis, Antimicrobial activity

Master's Thesis in Science. Program of Agro-Food Science and Technology,
Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Martin Jauregui Fuentes

Advisor: Dr. Emmanuel Flores Girón

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El chorizo de cerdo es uno de los embutidos artesanales de mayor identidad cultural, tradición gastronómica y consumo masivo en México (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021). No obstante, la elaboración tradicional de este alimento procesado enfrenta desafíos críticos vinculados al uso de aditivos químicos sintéticos como nitritos y nitratos de sodio, empleados para garantizar su inocuidad microbiológica y estabilizar su color distintivo.

El desarrollo y la innovación en la industria agroalimentaria actualmente demandan una visión que articule las exigencias del mercado con la viabilidad técnica en la formulación de alimentos. En el sector de los embutidos cárnicos tradicionales en México, la tendencia global hacia el consumo de productos *Clean Label* (etiqueta limpia) impulsa la búsqueda de alternativas eficaces para sustituir los aditivos y conservadores sintéticos, como nitritos y nitratos, sin comprometer la inocuidad microbiológica, las propiedades fisicoquímicas ni la aceptabilidad sensorial que definen la tipicidad de estos alimentos tradicionales (Kim et al., 2025; Shakil et al., 2022).

Para responder a este desafío, la presente investigación conecta la valoración económica del consumidor con la validación tecnológica en la matriz cárnica del chorizo mexicano. Por un lado, resulta indispensable evaluar la viabilidad comercial y la demanda de mercado mediante la economía aplicada, en donde la metodología de los Experimentos de Elección Discreta (EED) permite simular escenarios reales de compra para determinar cómo los consumidores ponderan la inclusión de bioconservadores frente a aditivos convencionales y estimar su Disposición a Pagar Marginal (DAPMg) por atributos de calidad, origen y formulación (Hernández Valdivia et al., 2023).

Asimismo, la validez de estas estimaciones económicas requiere examinar la consistencia metodológica entre los canales de recolección de información presenciales y digitales, identificando posibles sesgos de muestreo.

Por otro lado, la factibilidad de estas demandas del mercado debe sustentarse en el comportamiento fisicoquímico, microbiológico y sensorial del producto. Aunque péptidos antimicrobianos como la nisina ofrecen un elevado potencial como conservadores naturales, su incorporación en matrices complejas como el chorizo de cerdo involucra interacciones moleculares con lípidos y proteínas miofibrilares que pueden condicionar su bioactividad y modificar parámetros críticos de calidad como el pH, la retención de agua, la textura, la estabilidad cromática y la vida útil (Faria et al., 2024). Adicionalmente, cualquier intervención en la fórmula debe garantizar que la percepción sensorial no sufra desviaciones que alteren la aceptabilidad global ni la intención de compra del consumidor.

En consecuencia, este trabajo se estructuró bajo un enfoque interdisciplinario cuyo objetivo general fue evaluar integralmente la adición de bioconservadores naturales (nisina) en el chorizo de cerdo en México, articulando la valoración económica y la Disposición a Pagar Marginanl DAPMg del consumidor con la caracterización microbiológica, fisicoquímica-bromatológica y la evaluación sensorial en almacenamiento. Se plantea como hipótesis general que los consumidores asignan un valor económico positivo a la formulación con conservadores naturales, y que la adición optimizada de nisina en el chorizo de cerdo inhibe el deterioro por efecto microbiano y extiende la vida útil del producto, preservando su calidad fisicoquímica y aceptabilidad sensorial.

1.1. Literatura citada

- Faria, A. S., Bonilla-Luque, O. M., Carvalho, L., Fernandes, N., Prieto, M. A., Cadavez, V., & Gonzales-Barron, U. (2024). Microbiological and Physicochemical Profile of Traditionally Produced Chouriça de Carne Dry-Fermented Sausages: Towards Benchmarking of Products Against Established Quality Groups. *Foods*, 13(22), 3705. <https://doi.org/10.3390/foods13223705>
- Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J. H., Damián, M. Á. M., Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J.

- H., & Damián, M. Á. M. (2023). Análisis de la disponibilidad a pagar por carne de cerdo libre de antibióticos, un enfoque de Experimentos de Elección. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(3), 658–671. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6062>
- Kim, M., Bae, S. M., Yoo, Y., Park, J., & Jeong, J. Y. (2025). Clean-Label Strategies for the Replacement of Nitrite, Ascorbate, and Phosphate in Meat Products: A Review. *Foods*, 14(14), 2442. <https://doi.org/10.3390/foods14142442>
- Ovando-Flores, H., & Thomé-Ortiz, H. (2021). Quality Seal for Artisanal Chorizo in Valle de Toluca: Keys to Obtaining a Collective Brand. *Agro Productividad*, 14(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1917>
- Shakil, M. H., Trisha, A. T., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. *Foods*, 11(21), 3355. <https://doi.org/10.3390/foods11213355>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Chorizo Tradicional Mexicano

2.1.1. Definición y tipificación regional

El chorizo es un producto cárnico procesado de amplio consumo en México. De acuerdo con la NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2019) y la norma CXS 192-1995 del Codex Alimentarius (FAO y OMS, 2019), se clasifica como un embutido elaborado a partir de carne picada o molida (principalmente de porcino), aderezado con sal, especias, chiles y aditivos permitidos, sometido o no a procesos de curado, secado o maduración. A diferencia de los embutidos madurados europeos (como el salami o el chorizo español), el chorizo mexicano tradicional se comercializa predominantemente en estado crudo-fresco o ligeramente oreado, condición que le confiere una vida de anaquel limitada y un comportamiento fisicoquímico particular.

En México, la formulación del chorizo exhibe una marcada tipicidad geográfica. Mientras que en los estados del norte predominan versiones más deshidratadas con alto contenido de pimentón o chile colorado, el central Valle de Toluca (Estado de México) destaca como la región de mayor arraigo y prestigio gastronómico en la producción artesanal de chorizo rojo y verde (Becerril Sánchez et al., 2019).

Sin embargo, Ovando-Flores & Thomé-Ortiz (2021) señalan que esta producción a pequeña y mediana escala enfrenta retos sustanciales de estandarización tecnológica y diferenciación comercial (ej. marcas colectivas o sellos de calidad). La falta de homogeneidad en la relación carne/grasa y el uso heterogéneo o nulo de conservadores limitan su vida útil, haciendo indispensable la evaluación integral de formulaciones tradicionales optimizadas mediante el uso de bioconservadores como la nisina (Popa et al., 2022).

Caracterización de la matriz cárnica

Desde la perspectiva de la tecnología de carnes, el chorizo no constituye una emulsión cárnica fina pura como las salchichas tipo Frankfurter analizadas por Kim et al. (2025), sino un sistema heterogéneo de dispersión gruesa integrado por tres componentes principales:

- Una matriz proteica estructurante: formada por proteínas miofibrilares (principalmente miosina y actina) que se solubilizan parcialmente mediante la adición de cloruro de sodio (NaCl) y el trabajo mecánico de mezclado. Estas proteínas conforman una red tridimensional que inmoviliza el agua libre y atrapa los glóbulos de grasa.
- Una fase lipídica dispersa: constituida por la grasa dorsal o tejido adiposo porcino, la cual se intercala en la red proteica aportando lubricidad, textura y retención de compuestos aromáticos liposolubles derivados de las especias.
- Proteínas estromales (colágeno): que brindan firmeza estructural a la masa tras el embutido en tripas naturales o sintéticas, considerando que un contenido excesivo de estas puede comprometer la capacidad de retención de agua (CRA).

Composición bromatológica del chorizo

La calidad bromatológica del chorizo varía según la formulación base y el nivel de oreado/deshidratación. Reportes de calidad en productos cárnicos mexicanos (Profeco, 2024) e investigaciones en embutidos artesanales (Becerril Sánchez et al., 2019) ubican sus parámetros en los siguientes rangos mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición bromatológica del chorizo de cerdo

Parámetro Bromatológico	Rango Típico (%)	Función Cárnica / Rol Tecnológico
Humedad	35% – 55%	Determinante para la actividad de agua ($a_w \approx 0.92 - 0.96$). Oreados cortos mantienen humedades altas.
Proteína Cárnica	12% – 18%	Solubilización miofibrilar para ligación de la masa y gelificación.
Lípidos / Grasa	25% – 40%	Sabor, palatabilidad, jugosidad y perfil organoléptico.
Cenizas / Minerales	2.5% – 4.5%	Provenientes de la sal agregada y sales minerales del chile/especias (Tejada et al., 2021).

Elaboración propia con datos de campo.

Rol tecnológico de los ingredientes tradicionales:

Chiles secos (Ancho, Guajillo, Pasilla): Además de otorgar el color rojo característico y el perfil sensorial térmico/picante, aportan fitoquímicos y polifenoles con actividad antioxidante natural que retrasan la oxidación lipídica (Munekata et al., 2020).

Vinagre (Ácido acético): Actúa como acidificante directo. Reduce el pH de la mezcla ($pH < 5.4 - 5.8$), aproximando las proteínas cárnicas a su punto isoeléctrico, lo que acelera la pérdida de agua durante el oreo y genera un ambiente hostil para bacterias patógenas.

Sal (NaCl) y Nitritos/Nitratos: El NaCl incrementa la fuerza iónica para extraer proteínas miofibrilares y reduce la a_w . Los nitritos actúan como agentes bacteriostáticos contra *Clostridium botulinum* y fijan el color (Shakil et al., 2022).

Espicias (Ajo, orégano, comino, pimienta): Aportan aceites esenciales con propiedades antimicrobianas secundarias (Yu et al., 2021) que complementan la conservación del producto.

2.1.2. Cinética de maduración y fenómenos fisicoquímicos en embutidos crudos

Comportamiento y regulación de la actividad de agua (a_w) durante el oreado

Durante la fase de oreado o secado superficial en embutidos crudos-frescos y ligeramente madurados, la actividad de agua (a_w) constituye el parámetro termodinámico determinante tanto para la estabilidad microbiológica como para la evolución microestructural del alimento (Faria et al., 2024). En su estado recién embutido, la matriz cárnica presenta valores de $a_w \geq 0.98$, condición óptima que favorece tanto la hidratación de la red proteica como la proliferación de la microbiota endógena y contaminante (Redondo-Solano et al., 2023).

El proceso de oreado induce un fenómeno de transferencia de masa, caracterizado por la migración de agua libre desde el núcleo del embutido hacia la periferia y su posterior evaporación hacia el ambiente de almacenamiento. A medida que la a_w desciende paulatinamente hacia rangos de 0.92 – 0.95, el incremento en la fuerza iónica del fluido intracelular impulsado por la adición de cloruro de sodio y la reformulación parcial de sales, ejerce dos efectos fisicoquímicos y tecnológicos clave (Tejada et al., 2021):

- La reducción gradual del agua libre limita la viabilidad de patógenos Gram-negativos sensibles (como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*), favoreciendo la dominancia competitiva de microorganismos halotolerantes y bacterias ácido-lácticas bioprotectoras (Barcenilla et al., 2022).
- La pérdida controlada de humedad, coordinada con la extracción salina de miosina y actina, promueve el empaquetamiento proteico que transforma la masa fluida en una estructura firme y cohesiva (Yu et al., 2021).

Un control deficiente de la humedad relativa y de la velocidad del aire durante el oreado puede desencadenar un secado prematuro de la tripa y de la capa periférica (encostrado), el cual bloquea la migración interior del agua y retiene focos de alta a_w en el centro del embutido. Esta falta de estandarización en el secado y la retención de valores elevados de a_w compromete directamente la estabilidad microbiológica del producto, permitiendo la permanencia de microorganismos alterantes e indicadores de contaminación (Faria et al., 2024).

Dinámica del pH: acidificación por la vía láctica endógena y sobre-acidificación no deseada.

En el chorizo crudo tradicional, el pH de la masa cárnica experimenta un descenso gradual regulado por el metabolismo glucolítico de la microbiota, compuesta predominantemente por bacterias ácido-lácticas (BAL) como *Lactobacillus spp.* y *Pediococcus spp.* (Agüero et al., 2020). Esta acidificación endógena transforma los azúcares en ácido láctico, actuando como un mecanismo natural de bioprotección y conservación de la matriz cárnica (Barcenilla et al., 2022).

A medida que la acumulación de ácido láctico desplaza el pH del sistema hacia el punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares ($pI \approx 5.1 - 5.3$), disminuyen las cargas eléctricas netas de la miosina y la actina, reduciendo la atracción por las moléculas de agua. Esta pérdida controlada de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) es un requisito tecnológico fundamental para facilitar la pérdida de humedad durante el oreado y favorecer la estabilidad fisicoquímica del embutido (Tejada et al., 2021).

El fenómeno de sobre-acidificación no deseada, se desencadena ante excesos en la adición de carbohidratos fermentables o desviaciones térmicas durante la maduración/oreado. Esta condición genera descensos marcados del pH que desencadenan los siguientes efectos adversos:

- Desnaturalización proteica y alteración estructural: La acidificación descontrolada demerita la funcionalidad de la red proteica para retener la

fase lipídica y el agua, generando defectos texturales y pérdida excesiva de exudado en productos cárnicos (Yu et al., 2021).

- Alteración del perfil sensorial y comercial: Produce notas marcadamente ácidas y punzantes que alteran la percepción sensorial de las especias tradicionales (chiles y ajo), afectando la tipicidad y calidad comercial requerida para la valoración del chorizo artesanal regional (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021).
- Incompatibilidad con esquemas de curado tradicionales: Una caída drástica del pH interfiere con las dinámicas de curado y la estabilidad de nitratos/nitritos en la matriz cárnica, comprometiendo la fijación adecuada del color y las características de inocuidad reglamentadas (Shakil et al., 2022).

2.1.3. Microbiota asociada, deterioro y riesgos a la salud pública

Dinámica poblacional de microorganismos mesófilos aerobios y coliformes totales.

La elaboración de embutidos crudos tradicionales implica la formación de una matriz cárnica heterogénea donde coexisten poblaciones microbianas autóctonas, cultivos iniciadores e indicadores de contaminación. La evolución de este ecosistema microbiológico determina la vida de anaquel, las propiedades organolépticas y la calidad sanitaria del producto final (Lou et al., 2025).

Mesófilos aerobios: Constituyen el indicador cuantitativo de la carga microbiana heterótrofa total presente en la materia prima (carne de cerdo, grasa y especias). Tras la molienda y el embutido, las poblaciones iniciales suelen situarse en rangos de 10^4 a 10^6 UFC/g (Becerril Sánchez et al., 2019). Durante las primeras fases de almacenamiento o maduración, experimentan una fase exponencial sustentada por la disponibilidad de nutrientes y una alta actividad de agua ($a_w \geq 0.98$). En sistemas con fermentación controlada, su crecimiento decrece conforme dominan las bacterias ácido-lácticas (BAL); mientras que en chorizos crudos frescos comerciales representa el parámetro primario para evaluar el deterioro biológico (Redondo-Solano et al., 2023).

Coliformes totales y *Enterobacteriaceae*: Este grupo funciona como indicador microbiológico de la higiene en el proceso de manufactura, reflejando el grado de contaminación fecal o la presencia de fallas en la desinfección de molinos, embutidoras y utensilios (Weiler et al., 2024). En chorizos comerciales no sometidos a maduración estricta, la presencia de coliformes suele ser elevada debido al manejo artesanal. No obstante, su viabilidad se ve progresivamente diezmada mediante el efecto obstáculo, derivado del descenso de pH, la deshidratación parcial (a_w) y la presencia de péptidos antimicrobianos en la formulación (Santos et al., 2018).

Riesgos sanitarios: patógenos de interés sanitario en productos cárnicos crudos

Las características de los chorizos crudos como la alta densidad proteico-lipídica, anaerobiosis parcial en la masa cárnica y variabilidad en la adición de conservadores, establecen un entorno crítico para la proliferación o supervivencia de bacterias patógenas reguladas bajo la NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2019).

Listeria monocytogenes, es un patógeno Gram⁺, psicrótrofo y halotolerante (capaz de desarrollarse en concentraciones de NaCl superiores al 10%), lo que le permite sobrevivir y multiplicarse en ambientes de refrigeración convencional. Representa uno de los principales objetivos en las estrategias de bioconservación cárnica. La adición de bacteriocinas como la nisina actúa eficazmente contra *L. monocytogenes* (Anumudu et al., 2021).

Staphylococcus aureus, es un microorganismo Gram⁺, anaerobio facultativo y altamente halotolerante. Su importancia en la salud pública radica en la producción de enterotoxinas termoestables cuando el alimento se expone a temperaturas superiores a 10°C durante la elaboración o distribución. La inhibición de *S. aureus* depende directamente de la bioprotección ejercida por cultivos de BAL autóctonas y de la presencia de péptidos antimicrobianos combinados con una reducción acelerada del pH y de la a_w (De La Fuente Salcido & Barboza Corona, 2010; Fell et al., 2024).

Clostridium botulinum, bacteria esporulada y anaerobia estricta cuya toxina neurotóxica causa botulismo, un riesgo latente en embutidos empaquetados en tripa natural o al vacío. Tradicionalmente, su control ha dependido de la adición de nitrito de sodio. En el desarrollo de productos con ingredientes o reducidos en aditivos sintéticos, la integración de péptidos antimicrobianos representa un mecanismo alternativo biológicamente activo para prevenir la germinación y extensión celular de las esporas de *Clostridium spp.* (Kim et al., 2025).

2.2. La Paradoja de los Nitritos y el Paradigma del *Clean Label*

El mercado global de productos cárnicos procesados enfrenta una transformación impulsada por las exigencias del consumidor hacia formulaciones Clean Label (etiquetado limpio), caracterizadas por la eliminación de aditivos sintéticos, la simplificación de ingredientes e inclusión de insumos de origen natural. No obstante, esta tendencia plantea una paradoja tecnológica e higiénico-sanitaria: remover o sustituir las sales de cura tradicionales compromete directamente la estabilidad organoléptica, la vida de anaquel y, fundamentalmente, la seguridad microbiológica del alimento (Shakil et al., 2022).

2.2.1. Sales de cura sintéticas (nitratos y nitritos) en la industria cárnica

Función multifuncional

El nitrito funciona como un reactivo químico multifuncional mediante un solo compuesto sintético, desempeñando tres roles clave en la matriz cárnica:

1. Fijación del color mioglobínico: En el medio ácido de la masa cárnica, el nitrito se reduce a óxido nítrico (NO). El NO se une al Fe^{2+} de la mioglobina de los tejidos para formar nitrosomioglobina (rojo vivo), la cual se desnaturaliza por calor o curado para transformarse en nitrosohemocromo, responsable del color rosado característico y estable de los embutidos curados (Kim et al., 2025).
2. Acción antioxidante lipídica: El nitrito quela los iones de hierro libre (Fe^{2+}) liberados durante el procesamiento térmico o el picado de la carne. Al inmovilizar el hierro libre, interrumpe las reacciones en cadena de

radicales libres, previniendo la peroxidación lipídica y el desarrollo de aromas de enranciamiento (Alirezalu et al., 2019).

3. Barrera antimicrobiana y seguridad microbiológica: Actúa inhibiendo enzimas clave del metabolismo energético (como las ferredoxinas) en bacterias patógenas y de alteración. Su función crítica radica en bloquear la germinación y multiplicación de esporas de *Clostridium botulinum*, además de frenar el desarrollo de *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Anumudu et al., 2021).

Toxicología y salud pública

A pesar de sus beneficios tecnológicos, el uso de nitritos sintéticos presenta importantes implicaciones toxicológicas cuando interactúan con la matriz biológica:

Bajo condiciones de procesamiento térmico elevado (como el freído) o en medios con elevado contenido amínico, los nitritos reaccionan con aminas secundarias y terciarias procedentes de la proteólisis de la carne. Esta interacción genera *N*-nitrosaminas exógenas (como la *N*-nitrosodimetilamina o NDMA), compuestos clasificados como carcinógenos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) (Shakil et al., 2022).

Tras la ingesta, el nitrito residual que llega al estómago (pH 1.5 – 2.0) se protona a ácido nitroso (HNO_2) y genera agentes nitrosantes reactivos (N_2O_3 , NO^+). Estas especies reaccionan con los compuestos aminados presentes dentro del tracto gastrointestinal, favoreciendo la formación in vivo de *N*-nitroso compuestos (NOCs) y aductos de ADN, lo que incrementa el riesgo de desarrollo de cáncer colorrectal (Kim et al., 2025).

2.2.2. La tendencia global *Clean Label* y el consumo de alimentos más naturales

Reconceptualización del etiquetado de alimentos

La evolución en las exigencias del consumidor ha impulsado una reconceptualización del etiquetado de alimentos. El paradigma *Clean Label*

(etiquetado limpio) trasciende la simple preferencia visual y se consolida como un movimiento basado en la transparencia, la naturalidad de los insumos y la percepción del impacto de la dieta en la salud. Desde la óptica tecnológica y comercial, la reformulación hacia el *Clean Label* implica simplificar la lista de ingredientes y sustituir aditivos sintéticos, tales como conservadores químicos, colorantes artificiales, fosfatos y nitritos, por alternativas de origen vegetal, fúngico o microbiano reconocibles para el consumidor (Bazzani et al., 2024).

No obstante, en matrices alimentarias complejas como los productos cárnicos procesados, eliminar o sustituir aditivos sintéticos sin comprometer la calidad sensorial ni la vida útil representa un desafío tecnológico considerable (Munekata et al., 2020). La percepción de naturalidad por parte del comprador condiciona la aceptabilidad sensorial y la valoración hedónica en el punto de venta, influyendo en la intención de compra y en la búsqueda de garantías sanitarias o sellos de diferenciación en productos artesanales e inocuos (Ruiz-Capillas et al., 2021).

El etiquetado frontal en México (NOM-051-SCFI/SSA1-2010).

En México, la política de salud pública sobre etiquetado alimentario se consolidó con la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, la cual instauró el sistema de etiquetado frontal octagonal para advertir el exceso de nutrimentos críticos (calorías, azúcares, grasas saturadas, grasas trans y sodio) y leyendas precautorias sobre edulcorantes y cafeína.

En el sector de carnes frías y embutidos (como el chorizo y la salchicha), los productos incurren de forma recurrente en sellos por "EXCESO DE SODIO", "EXCESO DE GRASAS SATURADAS" y "EXCESO DE CALORÍAS", además de emplear sales de cura y aditivos convencionales (PROFECO, 2024; Tejada et al., 2021).

La presencia de los sellos de advertencia modifica las técnicas de elección del consumidor al incrementar la percepción de riesgo de enfermedades metabólicas, desincentivando el consumo de alimentos ultraprocesados (Hernández Valdivia et al., 2023). Frente a estas advertencias en el empaque, el consumidor tiende a reevaluar sus preferencias, mostrando disposición a pagar

(DAP) por productos cárnicos con un mejor perfil nutrimental, libres de aditivos sintéticos o con atributos diferenciados de inocuidad y producción limpia (Jaramillo Villanueva et al., 2018). Este marco normativo ejerce una presión directa sobre la industria cárnica para reducir sodio y grasas, así como para incorporar bioconservadores naturales que mantengan la inocuidad y la vida de anaquel (Yu et al., 2021).

2.2.3. Bioconservación en matrices cárnicas

Definición y clasificación

La bioconservación comprende la extensión de la vida útil y el incremento de la inocuidad microbiológica de los alimentos mediante el uso de microorganismos naturales o sus metabolitos antimicrobianos, constituyendo una alternativa alineada con la tendencia *Clean Label* (Barcenilla et al., 2022; De La Fuente Salcido & Barboza Corona, 2010). En la tecnología de productos cárnicos, los sistemas bioprotectores se dividen en tres categorías operacionales:

- Cultivos iniciadores: Consorcios microbianos seleccionados principalmente bacterias ácido-lácticas (BAL) de los géneros *Lactobacillus*, *Lactiplantibacillus* y *Latilactobacillus*, junto con estafilococos coagulasa-negativos (*Staphylococcus carnosus* y *S. xylosus*), adicionados para dirigir la fermentación. Su función principal es la acidificación por producción de ácido láctico, el desarrollo organoléptico mediante proteólisis/lipólisis controlada y la reducción biológica de nitratos a nitritos (Agüero et al., 2020).
- Cultivos bioprotectores: Cepas seleccionadas por su capacidad para inhibir o competir contra microorganismos patógenos (*Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*) y alterantes, sin modificar los atributos sensoriales del alimento. Actúan por exclusión competitiva de nutrientes o sitios de adhesión, acidificación moderada y producción in situ de metabolitos activos (Barcenilla et al., 2022).
- Metabolitos antimicrobianos (Bacteriocinas): Péptidos de síntesis ribosomal producidos predominantemente por BAL con actividad

bactericida o bacteriostática frente a especies filogenéticamente cercanas o patógenos alimentarios (Hernández-Lozada et al., 2025). Se clasifican según sus modificaciones postraduccionales en lantibióticos (Clase I) y no lantibióticos (Clase II), utilizándose como ingredientes purificados o semipurificados (Santos et al., 2018).

2.3. Producción y aplicación biotecnológica de la Nisina

2.3.1. Naturaleza bioquímica de la nisina

La nisina es un lantibiótico lineal de Clase Ia (~ 3.5 kDa) sintetizado por *Lactococcus lactis subsp. lactis* durante la fase logarítmica tardía (Anumudu et al., 2021). Como se observa en la figura 1, su secuencia de 34 aminoácidos contiene residuos no proteogénicos formados por modificaciones postraduccionales, destacando cinco anillos tioéter: uno de lantionina (Lan) y cuatro de β -metillantionina (MeLan). Estos enlaces confieren rigidez estructural, resistencia a proteasas inespecíficas y afinidad del extremo N-terminal por el Lípido II de la membrana bacteriana.

De acuerdo con Guo et al. (2010), el proceso de producción industrial de nisina (E234) comprende cinco etapas secuenciales:

1. Fermentación alimentada (fed-batch): Reactivación e inoculación de *Lactococcus lactis subsp. lactis* en un medio optimizado de azúcares, nitrógeno y sales a 30 °C, manteniendo el pH entre 5.5 y 6.0 con bases nitrogenadas para evitar la inhibición por ácido láctico.
2. Inactivación y clarificación: Tratamiento térmico del caldo (70–80 °C) para destruir biomasa y proteasas, seguido de centrifugación o filtración para obtener un sobrenadante libre de células.
3. Acidificación y concentración: Acidificación a pH 2.0–3.0 para maximizar la solubilidad y estabilidad térmica del péptido, concentrándolo por ultrafiltración o precipitación salina con NaCl al 5–10%.
4. Estandarización: Mezcla del precipitado con cloruro de sodio hasta obtener la especificación del aditivo comercial E234 (2.5% nisina pura y 97.5% NaCl).

5. Secado por aspersión: Atomización a 160–180 °C para obtener el polvo seco, estable y listo para empaque hermético.

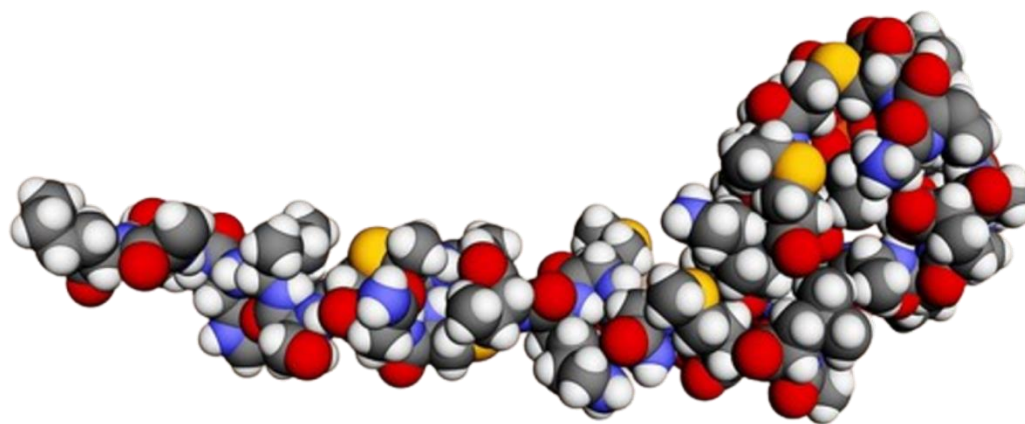


Figura 1. Estructura tridimensional de la nisina producida por *Lactococcus lactis*

El comportamiento biotecnológico de la nisina depende directamente del pH del medio, exhibe una alta en soluciones ácidas pH 2.0 pero disminuye y cae casi por completo a pH 7.0 debido a la desprotonación de residuos de lisina e histidina (Gharsallaoui et al., 2016).

A pH ácido (pH 2.0 – 3.0) soporta tratamientos severos de esterilización (121° C por 15 minutos). A pH moderado o neutro (pH 6.0 – 7.0), el calor degrada los enlaces tioéter y los residuos insaturados (Dha y Dhb), causando su inactivación (Santos et al., 2018).

2.3.2. Mecanismo biomolecular de acción antimicrobiana

El efecto bactericida de la nisina opera mediante un mecanismo dual coordinado entre la inhibición de la pared celular y la disrupción de la membrana plasmática (Santos et al., 2018):

Como se observa en la Figura 2, el péptido catiónico se atrae electrostáticamente a los ácidos teicoicos (-) de las bacterias Gram-positivas (Bahrami et al., 2024). Posteriormente, sus anillos N-terminales se unen específicamente al grupo pirofosfato del Lípido II, molécula transportadora clave para el peptidoglicano, paralizando la síntesis de la pared celular y la división celular (Shin et al., 2016)

La unión al Lípido II facilita que la región C-terminal de la nisina se inserte verticalmente en la bicapa lipídica, ensamblando poros supramoleculares estables. Esto genera la salida masiva de metabolitos, cationes (K^+) y ATP, disipando el potencial eléctrico y el gradiente de pH, lo que conduce a la lisis por desequilibrio osmótico.

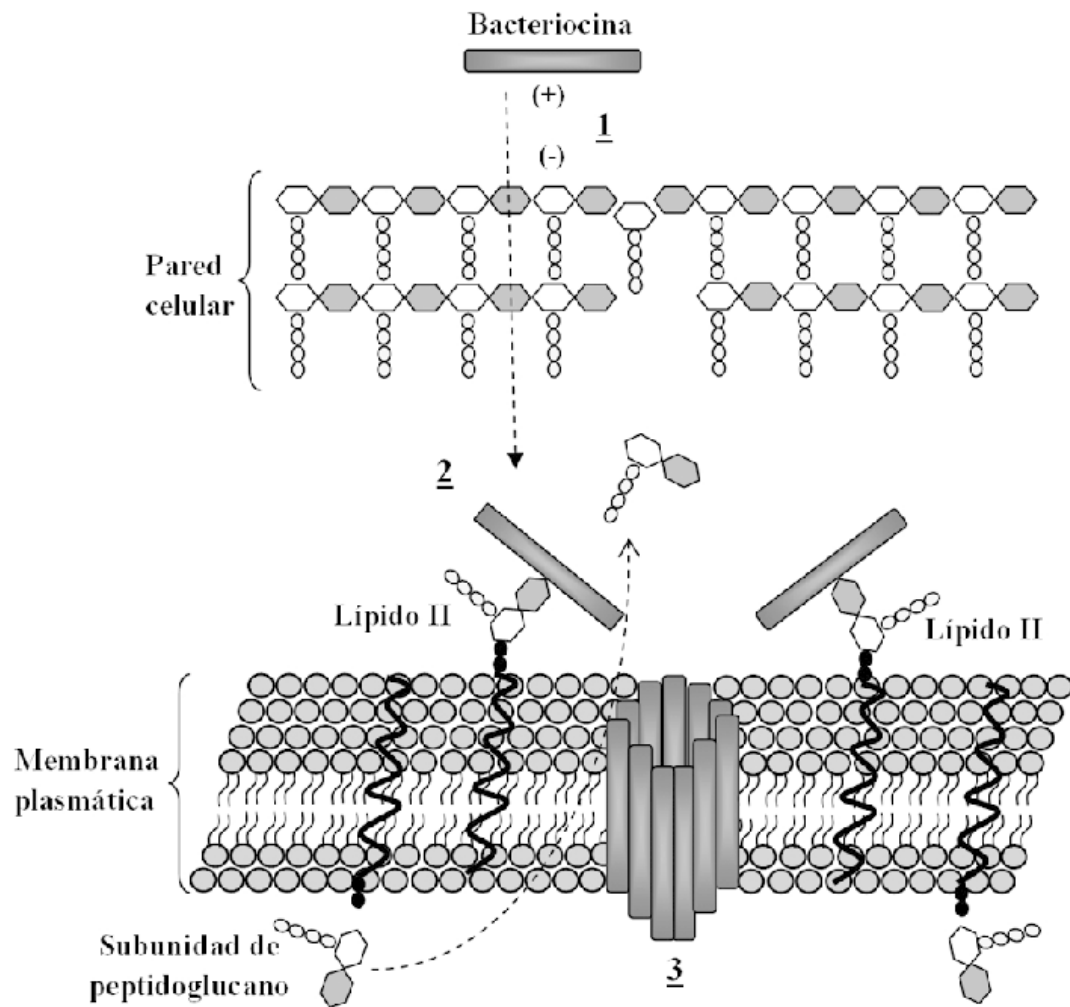


Figura 2. Modelo que muestra el mecanismo de acción dual de la nisina producida por *Lactococcus lactis*

Fuente: M. et al. (2008).

2.3.3. Espectro de inhibición y aplicación en matrices cárnicas

El espectro antimicrobiano de la nisina varía según la arquitectura de la envoltura celular:

- Bacterias Gram⁺: Alta eficacia frente a formas vegetativas patógenas (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*) y alterantes (Barcenilla et al., 2022)
- Bacterias esporuladas: En especies de *Clostridium* y *Bacillus*, actúa durante la fase de germinación y desarrollo, alterando la membrana interna de la espora en emergencia e impidiendo su reactivación (Anumudu et al., 2021).
- Bacterias Gram⁻: *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* presentan resistencia natural debido a que su membrana externa rica en lipopolisacáridos (LPS) impide el acceso de la nisina al Lípido II (Yu et al., 2021).

2.3.4. Estatus regulatorio y desafíos tecnológicos

La nisina posee estatus GRAS (Generally Recognized as Safe) por la FDA y está aprobada como aditivo (E234) por la Unión Europea y el Codex Alimentarius. Ingesta mediante la dieta, las proteasas intestinales (α -quimiotripsina y pancreatina) la degradan de forma inofensiva a sus aminoácidos constituyentes, garantizando la ausencia de toxicidad (Batista-González et al., 2022).

En la matriz cárnica, su bioactividad puede verse atenuada por adsorción a proteínas miofibrilares, interacción con lípidos o inactivación por proteasas endógenas (Popa et al., 2022). Para superar estas limitaciones y contrarrestar la barrera de las bacterias Gram⁻, la nisina se aplica combinándola de forma sinérgica con sales de ácidos orgánicos (lactatos, acetatos), aceites esenciales, extractos vegetales o empaques activos (Fell et al., 2024).

2.4. Evaluación Sensorial Afectiva y Diagnósticos en la Reformulación de Cárnicos

El desarrollo y reformulación de productos cárnicos enfrentan el desafío técnico de modificar la composición química (como la reducción o sustitución de nitritos, fosfatos o sodio) sin comprometer la calidad sensorial ni la identidad artesanal o tipicidad del producto (Ruiz-Capillas et al., 2021).

En este contexto, las pruebas sensoriales afectivas o de respuesta del consumidor desempeñan un rol crítico al evaluar el nivel de agrado, preferencia

y aceptación global frente a los cambios de formulación (International Organization for Standardization, 2021). La evaluación afectiva permite medir la percepción holística del consumidor mediante escalas hedónicas estructuradas (frecuentemente de 9 puntos), determinando si la incorporación de preservantes naturales o la alteración del perfil de sales afecta significativamente la aceptabilidad general en comparación con la formulación convencional o de referencia (ISO 4121:2003).

La preservación de la tipicidad, definida como el conjunto de atributos de color, textura, aroma y sabor que el consumidor asocia con la identidad tradicional del alimento, es indispensable para asegurar que el producto reformulado mantenga su competitividad comercial y su intención de compra (Becerril Sánchez et al., 2019).

2.4.1. La Escala Just About Right (JAR)

La escala Just About Right (JAR) es una herramienta diagnóstica bimodal y no estructurada que combina la intensidad percibida de un atributo específico con la evaluación del nivel de adecuación ideal para el consumidor (Li et al., 2014). A diferencia de las escalas hedónicas convencionales, la escala JAR categoriza la percepción del consumidor en una escala de 3 o 5 puntos, típicamente colapsada en tres rangos de diagnóstico para cada atributo evaluado.

- Demasiado bajo o insuficiente: Categoría de intensidad por debajo del nivel ideal.
- Justo el punto ideal (JAR): Categoría central que representa la adecuación óptima para el consumidor.
- Demasiado alto o excesivo: Categoría de intensidad por encima del nivel ideal.

El uso de escalas JAR en la sustitución de ingredientes en embutidos permite identificar de manera precisa las desviaciones organolépticas generadas por los

nuevos formulados, actuando como una guía directa para el reajuste tecnológico de ingredientes.

Para interpretar estadísticamente los datos obtenidos mediante escalas *Just-About-Right* (JAR), se utiliza el Análisis de Penalizaciones (*Penalty Analysis* o *Mean Drop*). Esta herramienta relaciona la evaluación diagnóstica de los atributos sensoriales con la Aceptabilidad Global otorgada por el consumidor, al cuantificar la reducción promedio en el agrado general derivada de cualquier desviación respecto a la categoría ideal (Li et al., 2014).

$$\text{Mean Drop} = \bar{Y}_{\text{JAR}} - \bar{Y}_{\text{No-JAR}}$$

Donde:

$\bar{Y}_{\text{JAR}}$ es la media de Aceptabilidad Global otorgada por el grupo de consumidores que evaluó el atributo como "Adecuado" (JAR).

$\bar{Y}_{\text{No-JAR}}$ es la media de Aceptabilidad Global otorgada por el grupo que evaluó el atributo en las categorías de desviación ("Demasiado bajo" o "Demasiado alto").

El análisis de penalizaciones permite priorizar las modificaciones tecnológicas mediante el cruce de dos variables clave:

- Proporción de consumidores (%): Un atributo no-JAR se considera crítico únicamente si supera un umbral de frecuencia mínima (típicamente entre el 20% y el 30% de los consumidores).
- Caída de la media (Mean Drop): Determina qué desviaciones específicas causan una penalización estadísticamente significativa sobre el agrado general.

Mediante este diagnóstico multidimensional, es posible señalar con precisión los atributos determinantes que requieren optimización en la formulación del embutido cárnico, priorizando aquellos cuya corrección maximizará el agrado hedónico del consumidor final (Ruiz-Capillas et al., 2021).

2.5. Fundamentos de Economía del Consumo y Experimentos de Elección Discreta (EED)

2.5.1. Marco teórico de la elección del consumidor

Teoría de los Atributos del Consumidor

La economía neoclásica tradicional asumía que la utilidad se derivaba directamente de los bienes consumidos como entidades indivisibles. Sin embargo, en el análisis de decisiones complejas en el sector agroalimentario, particularmente en la sustitución de conservantes sintéticos en embutidos, se adopta el marco de la Teoría de los Atributos de Kelvin Lancaster en 1966 (Marcos-Toxqui et al., 2026).

Esta aproximación postula que la utilidad que un consumidor obtiene de un bien no proviene de la mercancía en sí misma, sino de la combinación de sus propiedades, características y atributos inherentes (intrínsecos como el color y textura, y extrínsecos como el precio o el método de conservación) (Thies et al., 2024). Por lo tanto, un alimento cárnico se conceptualiza como un paquete o conjunto de atributos, donde la decisión de compra refleja la evaluación subjetiva del consumidor sobre los niveles específicos de cada característica presente en la matriz alimentaria (Méndez-Ordoñez et al., 2025).

Teoría de la Utilidad Aleatoria y modelo Logit Multinomial (MNL)

Para operacionalizar el enfoque de Lancaster en escenarios donde el consumidor enfrenta elecciones discretas y mutuamente excluyentes, McFadden formalizó la Teoría de la Utilidad Aleatoria (RUM, por sus siglas en inglés); McFadden, 1974). Esta teoría asume un comportamiento racional donde el consumidor evalúa las opciones disponibles y elige aquella que le otorga la mayor utilidad total (Cerdeira, 2011; McFadden, 1974). Se trata de una herramienta estadística y econométrica que se utiliza para predecir la probabilidad de que un individuo elija una opción específica entre tres o más alternativas discretas, excluyentes y sin un orden en particular.

El modelo MNL opera bajo el supuesto de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IIA).

Este supuesto establece que la preferencia relativa entre dos opciones no cambia, aunque se añada, elimine o modifique una tercera opción. Simplifica enormemente los cálculos matemáticos, pero en mercados reales donde los productos son muy parecidos entre sí (como distintas marcas o formulaciones de embutidos), este supuesto suele fallar al no capturar que diferentes segmentos de consumidores tienen gustos heterogéneos.

Dado que la utilidad interna del individuo no es completamente observable para el investigador, la utilidad total (U_{ni}) se descompone teóricamente en dos componentes (Melo-Guerrero et al., 2020):

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni}$$

Componente determinístico (V_{ni}): Representa la porción observable de la utilidad, expresada como una función lineal de los atributos del producto (por ejemplo, tipo de conservador o precio) y de los parámetros de preferencia estimados económicamente.

Componente estocástico (ε_{ni}): Captura los factores no observados por el investigador, variaciones individuales en la preferencia y sesgos de medición.

Bajo el supuesto de que los errores son independientes e idénticamente distribuidos siguiendo una distribución de valor extremo Tipo I (Gumbel), la probabilidad (P_{ni}) de que un consumidor elija una alternativa específica se formaliza mediante el modelo Logit Condicional:

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{ni})}{\sum_{j \in C_n} \exp(V_{nj})}$$

Desde el punto de vista económico, este modelo sustenta la estimación de la Disposición a Pagar Marginal (DAP), la cual mide el valor monetario implícito que el consumidor asigna a la sustitución de nitritos sintéticos por conservantes naturales. Matemáticamente, la DAP se calcula como la tasa marginal de sustitución entre el coeficiente del atributo de interés (β_{atributo}) y el coeficiente de la variable precio (β_{precio}) (Hernández Valdivia et al., 2023; Thies et al., 2024):

$$DAP = -\frac{\beta_{\text{atributo}}}{\beta_{\text{precio}}}$$

2.5.2. Metodología de los Experimentos de Elección Discreta (EED)

Principios del diseño experimental ortogonal y de bloques en estudios agroalimentarios.

La implementación de un EED requiere estructurar conjuntos de elección (*choice sets*) que simulen escenarios reales de compra. Un diseño factorial completo genera una cantidad impracticable de combinaciones. Por ello, se recurre a un diseño experimental ortogonal eficiente, el cual garantiza que las estimaciones de los efectos principales de cada atributo no estén correlacionadas entre sí (Cerde, 2011; Marcos-Toxqui et al., 2026).

Para evitar la fatiga cognitiva del consumidor al evaluar un número elevado de tarjetas de elección, se aplica una técnica de boqueo (*blocking*), dividiendo el diseño ortogonal en subconjuntos o bloques equivalentes mediante una variable de bloque ortogonal. De este modo, cada participante responde únicamente a una fracción del experimento sin comprometer la identificabilidad estadística de los parámetros (Cerde, 2011; Méndez-Ordoñez et al., 2025).

Atributos de diferenciación en productos cárnicos

En la evaluación de embutidos y productos cárnicos, el valor de uso percibido por el consumidor depende de atributos clave de diferenciación:

- Clean Label (Etiqueta Limpia): Sustitución de aditivos sintéticos (como nitritos o nitratos) por conservantes naturales (como nisina o extractos vegetales) para mitigar riesgos percibidos en la salud.
- Sellos de origen regional y marcas colectivas: Marcas geográficas que otorgan identidad y valor simbólico al producto frente a la producción industrial.
- Procesos artesanales y tipicidad: Métodos de elaboración tradicional que preservan perfiles de sabor y calidad microbiológica aceptable en productos regionales.

- Precio: Variable de compensación monetaria indispensable para la estimación del bienestar económico e intenciones de compra.

2.5.3. Estimación de la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg):

La Disposición a Pagar Marginal (DAPMg) representa el cambio monetario compensatorio que mantiene la utilidad esperada del consumidor constante tras la modificación de un nivel de atributo específico (Hanemann, 1994; Jaramillo Villanueva et al., 2018).

Desde la perspectiva microeconómica, la DAPMg equivale a la Tasa Marginal de Sustitución (TMS) entre el coeficiente estimado para el atributo de calidad k (β_k) y el coeficiente marginal de la variable precio (β_{precio}).

En modelos Logit Mixtos y de Clases Latentes, la DAPMg se calcula de forma distribuida o por segmento, reflejando el valor económico real otorgado por los consumidores.

2.5.4. Sesgos de muestreo y canal de recolección de información

La validez interna y externa de un experimento de elección discreta depende del canal utilizado para la recolección de datos primarios:

En encuestas presenciales en punto de venta (*Face-to-Face*), se realizan directamente en establecimientos comerciales o mercados tradicionales. Se garantizan que la muestra esté compuesta por compradores reales de la categoría de alimento, reducen la fatiga al contar con el apoyo de un encuestador para explicar los escenarios de elección y minimizan respuestas aleatorias (Becerril Sánchez et al., 2019). Sin embargo, implican costos operativos elevados y limitaciones en la cobertura geográfica o tamaño muestral.

Por su parte, las encuestas digitales en línea (*Web-based surveys*), se distribuyen a través de plataformas digitales estructuradas. Permiten una alta cobertura poblacional a bajo costo, automatización en la rotación de bloques experimentales y rapidez en la captura de datos (Thies et al., 2024). Pero están sujetas a sesgos de selección (auto-selección de los encuestados) y sesgos de

atención, además de sobre-representar a segmentos poblacionales más jóvenes o con mayor acceso a tecnologías de la información (Bazzani et al., 2024).

2.6. Literatura citada

- Agüero, N. de L., Frizzo, L. S., Ouwehand, A. C., Aleu, G., & Rosmini, M. R. (2020). *Technological characterisation of probiotic lactic acid bacteria as starter cultures for dry fermented sausages*. <https://doi.org/10.3390/foods9050596>
- Alirezalu, K., Hesari, J., Nemati, Z., Munekeata, P. E. S., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Combined effect of natural antioxidants and antimicrobial compounds during refrigerated storage of nitrite-free frankfurter-type sausage. *Food Research International*, 120, 839–850. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.048>
- Anumudu, C., Hart, A., Miri, T., & Onyeaka, H. (2021). Recent Advances in the Application of the Antimicrobial Peptide Nisin in the Inactivation of Spore-Forming Bacteria in Foods. *Molecules*, 26(18), 5552. <https://doi.org/10.3390/molecules26185552>
- Bahrami, S., Andishmand, H., Pilevar, Z., Hashempour-baltork, F., Torbati, M., Dadgarnejad, M., Rastegar, H., Mohammadi, S. A., & Azadmard-Damirchi, S. (2024). Innovative perspectives on bacteriocins: Advances in classification, synthesis, mode of action, and food industry applications. *Journal of Applied Microbiology*, 135(11), 19274. <https://doi.org/10.1093/jambio/19274>
- Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022). Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, 183, 108661. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>
- Batista-González, A., Muñoz-González, R., Yasky, S., Contreras, R. A., Batista-González, A., Muñoz-González, R., Yasky, S., & Contreras, R. A. (2022). Evaluación teórica de la exposición dietaria a la bacteriocina nisina como conservante natural para aderezos de tipo mayonesa vegetal en Chile. *Revista chilena de nutrición*, 49(4), 494–501. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182022000500494>
- Bazzani, C., Maesano, G., Begalli, D., & Capitello, R. (2024). Exploring the effect of naturalness on consumer wine choices: Evidence from a survey in Italy. *Food Quality and Preference*, 113, 105062. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105062>
- Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coterio, D., Quintero-Salazar, B., Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coterio, D., & Quintero-Salazar, B. (2019). La calidad sanitaria del chorizo rojo tradicional que se comercializa en la ciudad de Toluca, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(1), 172–185. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4344>
- Cerda, C. (2011). Una aplicación de experimentos de elección para identificar preferencias locales por opciones de conservación y desarrollo en el

- extremo sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 297–307. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300011>
- Codex Alimentarius. (1995). Norma general para los aditivos alimentarios (CXS 192-1995). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Organización Mundial de la Salud. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/gsfa/es/>
- De La Fuente Salcido, N. M., & Barboza Corona, J. E. (2010). Inocuidad y bioconservación de alimentos. *Acta Universitaria*, 20(1), 43–52. <https://doi.org/10.15174/au.2010.76>
- Faria, A. S., Bonilla-Luque, O. M., Carvalho, L., Fernandes, N., Prieto, M. A., Cadavez, V., & Gonzales-Barron, U. (2024). Microbiological and Physicochemical Profile of Traditionally Produced Chouriça de Carne Dry-Fermented Sausages: Towards Benchmarking of Products Against Established Quality Groups. *Foods*, 13(22), 3705. <https://doi.org/10.3390/foods13223705>
- Fell, E. L., Brum, L. M., Nicoletti, E., Sartoreto, L., Hoelscher, H., Colet, R., Steffens, J., Zeni, J., Valduga, E., Cansian, R. L., Backes, G. T., & Steffens, C. (2024). Nisin or organic acid salt mixtures for the Calabrese-type sausages in industrial-scale production. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1981-6723.06123>
- Gharsallaoui, A., Oulahal, N., Joly, C., & Degraeve, P. (2016). Nisin as a Food Preservative: Part 1: Physicochemical Properties, Antimicrobial Activity, and Main Uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8), 1262–1274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
- Guo, W., Zhang, Y.-B., Lu, J.-H., Jiang, L.-Y., Teng, L., Wang, Y., & Liang, Y.-C. (2010). Optimization of fermentation medium for nisin production from *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* using response surface methodology (RSM) combined with artificial neural network-genetic algorithm (ANN-GA). *African Journal of Biotechnology*, 9, 6264–6272.
- Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J. H., Damián, M. Á. M., Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J. H., & Damián, M. Á. M. (2023). Análisis de la disponibilidad a pagar por carne de cerdo libre de antibióticos, un enfoque de Experimentos de Elección. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(3), 658–671. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6062>
- Hernández-Lozada, G., Pérez-Flores, J. G., García-Curiel, L., González-Olivares, L. G., Contreras-López, E., Escobar-Ramírez, M. C., & Pérez-Escalante, E. (2025). Application of bacteriocins in food preservation and safety: A bibliometric analysis approach. *Food Science Today*, 4(1), 12–22. <https://doi.org/10.58951/fstoday.2025.003>
- International Organization for Standardization. (2021). Sensory analysis — Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach (ISO Standard No. 11035:1994, Reviewed and confirmed in 2021). <https://www.iso.org/standard/19013.html>

- International Organization for Standardization. (2003). Sensory analysis — Guidelines for the use of quantitative response scales (ISO Standard No. 4121:2003). <https://www.iso.org/standard/33817.html>
- Jaramillo Villanueva, J. L., Vargas López, S., Rojas Juárez, L. A., Jaramillo Villanueva, J. L., Vargas López, S., & Rojas Juárez, L. A. (2018). Valoración contingente y disponibilidad a pagar por atributos intangibles en carne de bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(1), 14–31. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4376>
- Kim, M., Bae, S. M., Yoo, Y., Park, J., & Jeong, J. Y. (2025). Clean-Label Strategies for the Replacement of Nitrite, Ascorbate, and Phosphate in Meat Products: A Review. *Foods*, 14(14), 2442. <https://doi.org/10.3390/foods14142442>
- Li, B., Hayes, J. E., & Ziegler, G. R. (2014). Just-About-Right and ideal scaling provide similar insights into the influence of sensory attributes on liking. *Food quality and preference*, 37, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.019>
- Lou, A., Jin, X., Dong, Z., Wei, Y., Wu, Y., Xiao, F., Quan, W., Liu, Y., Shen, Q., Luo, J., & Zhou, L. (2025). Effects of fermentation on the quality, flavor, and bacterial community changes of Longtian Zharou—a traditional Chinese fermented meat product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 106, 104297. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104297>
- McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. *Frontiers in Econometrics*, 105-142. - References—Scientific Research Publishing. (s/f). Recuperado el 26 de agosto de 2026, de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2068948>
- Marcos-Toxqui, J. G., Espejel-García, A., Barrera-Rodriguez, A. I., Flores-Girón, E., Marcos-Toxqui, J. G., Espejel-García, A., Barrera-Rodriguez, A. I., & Flores-Girón, E. (2026). Experimentos de elección discreta: Preferencia de consumo de mezcal de Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 17(2). <https://doi.org/10.29312/remexca.v17i2.4015>
- Melo-Guerrero, E., Hernández-Ortiz, J., Aguilar-Lopez, A., Rodríguez-Laguna, R., Martínez-Damián, M. A., Valdivia-Alcalá, R., Razo-Zarate, R., Melo-Guerrero, E., Hernández-Ortiz, J., Aguilar-Lopez, A., Rodríguez-Laguna, R., Martínez-Damián, M. A., Valdivia-Alcalá, R., & Razo-Zarate, R. (2020). Experimentos de elección para el manejo del Parque Nacional Los Mármoles, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 26(2), 257–272. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.06.043>
- Méndez-Ordoñez, W. D., Espejel-García, A., Flores-Girón, E., Hernández-Montes, A., & Torres-Salas, V. (2025). Valuation and differentiation attributes in pulque distillate identified by means of discrete choice experiments. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/z162y102>
- M., J. E., Z., A., Santoyo, G., L., J. L., M., E., T., M., & Loeza-Lara, P. (2008). Bacteriocins of Gram positive bacteria: A potential source of new biomedical treatments. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 39, 49–57.
- Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products

- to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *Current Opinion in Food Science, Food Chemistry and Biochemistry • Food Bioprocessing*, 31, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.003>
- Ovando-Flores, H., & Thomé-Ortiz, H. (2021). Quality Seal for Artisanal Chorizo in Valle de Toluca: Keys to Obtaining a Collective Brand. *Agro Productividad*, 14(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1917>
- Popa, E. E., Miteluț, A. C., Râpă, M., Popescu, P. A., Drăghici, M. C., Geicu-Cristea, M., & Popa, M. E. (2022). Antimicrobial Active Packaging Containing Nisin for Preservation of Products of Animal Origin: An Overview. *Foods*, 11(23), 3820. <https://doi.org/10.3390/foods11233820>
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2024, junio). Estudio de calidad: ¿Puro chorizo? Conoce lo que te venden. *Revista del Consumidor*, (568), 32–47. https://www.profeco.gob.mx/revista/RevistaDelConsumidor_568_JUNIO_2024.pdf
- Redondo-Solano, M., Cordero-Calderón, V., & Araya-Morice, A. (2023). Calidad microbiológica del chorizo crudo expendido en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1). <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50999>
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Meat Products Development. *Foods*, 10(2), 429. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Santos, J. C. P., Sousa, R. C. S., Otoni, C. G., Moraes, A. R. F., Souza, V. G. L., Medeiros, E. A. A., Espitia, P. J. P., Pires, A. C. S., Coimbra, J. S. R., & Soares, N. F. F. (2018). Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action, and application in active food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.008>
- Secretaría de Salud. (2019, 3 de abril). Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/04/2019
- Shakil, M. H., Trisha, A. T., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. *Foods*, 11(21), 3355. <https://doi.org/10.3390/foods11213355>
- Shin, J. M., Gwak, J. W., Kamarajan, P., Fenno, J. C., Rickard, A. H., & Kapila, Y. L. (2016). Biomedical applications of nisin. *Journal of Applied Microbiology*, 120(6), 1449–1465. <https://doi.org/10.1111/jam.13033>
- Tejada, L., Buendía-Moreno, L., Álvarez, E., Palma, A., Salazar, E., Muñoz, B., & Abellán, A. (2021). Development of an Iberian Chorizo Salted With a Combination of Mineral Salts (Seawater Substitute) and Better Nutritional Profile. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.642726>
- Thies, A. J., Altmann, B. A., Countryman, A. M., Smith, C., & Nair, M. N. (2024). Consumer willingness to pay (WTP) for beef based on color and price

- discounts. Meat Science, 217, 109597.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109597>
- Weiler, N., Orrego, M., Álvarez, M., Ortiz, F., Martínez, J., Dure, F., Florentin, M., Piris, L., Pérez, J., Domínguez, M., Lacarruba, C., Leotta, G., Weiler, N., Orrego, M., Álvarez, M., Ortiz, F., Martínez, J., Dure, F., Florentin, M., ... Leotta, G. (2024). Buenas Prácticas de Manufactura de carnicerías y frecuencia de *Escherichia coli* productor de toxina Shiga y *Salmonella* spp. En carne molida de carnicerías de Asunción, Paraguay. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 22(1), 2. <https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2024.e22122402>
- Yaghoubi, M., Alirezalu, K., Nottagh, S., Naghizadeh, S. H., Moslemi, S. A. S., Olyayee, M., Dizajyekan, M. M., & Fathi-Achachlouei, B. (2024). Enhancement of sausages shelf life using natural antimicrobials and propolis extract. *Food Science and Biotechnology*, 34(1), 287–298. <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01632-x>
- Yu, H. H., Chin, Y.-W., & Paik, H.-D. (2021). Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review. *Foods*, 10(10), 2418. <https://doi.org/10.3390/foods10102418>

3. EVALUACIÓN DE LAS PREFERENCIAS Y DISPOSICIÓN A PAGAR DEL CONSUMIDOR POR CHORIZO MEXICANO FORMULADO CON CONSERVADORES NATURALES**

3.1. Resumen

El chorizo de cerdo es un embutido tradicional ampliamente consumido en México, con relevancia cultural y económica. Sin embargo, su elaboración puede implicar riesgos para la inocuidad debido al uso limitado de métodos estandarizados de conservación. A la par, los consumidores muestran una creciente preferencia por alimentos con ingredientes naturales y procesos artesanales. Ante este panorama, el objetivo de este estudio fue estimar la disposición a pagar (DAP) por atributos del chorizo mexicano, haciendo énfasis en el uso de conservadores naturales, así como comparar los resultados obtenidos mediante encuestas en modalidad en línea y presencial. Se aplicaron 419 encuestas (213 presenciales y 206 en línea) utilizando experimentos de elección discreta, donde se evaluaron atributos como: color, tipo de conservador, origen, proceso de elaboración y precio. La información recabada se analizó mediante un modelo logit multinomial. En ambas modalidades, el tipo de conservador fue el atributo con mayor influencia en la elección, seguido del proceso de elaboración artesanal y el origen regional. La DAP marginal por conservadores naturales alcanzó \$363.00 MXN/kg en encuestas presenciales y \$438.00 MXN/kg en línea. Para el atributo artesanal, la DAP fue de \$38.00 MXN/kg y \$45.00 MXN/kg, respectivamente. Aunque se identificaron patrones de preferencia similares, los encuestados en línea presentaron una mayor disposición a pagar por atributos diferenciados. Los resultados destacan el potencial de mercado de productos cárnicos con conservadores naturales y subrayan la importancia de este método de levantamiento de información en la estimación de preferencias del consumidor.

Palabras clave: Experimentos de elección discreta, Preferencias del consumidor, Valoración económica, Alimento tradicional, Embutidos cárnicos.

Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Martín Jauregui Fuentes

Director de tesis: Dr. Emmanuel Flores Girón

**Todo el contenido del siguiente capítulo fue sometido a una revista científica.

EVALUATION OF CONSUMER PREFERENCES AND WILLINGNESS TO PAY FOR MEXICAN CHORIZO FORMULATED WITH NATURAL PRESERVATIVES

3.2. Abstract

Pork chorizo is a traditional sausage widely consumed in Mexico, with cultural and economic relevance. However, its processing can imply food safety risks due to the limited use of standardized preservation methods. At the same time, consumers show a growing preference for foods with natural ingredients and artisanal processes. Against this backdrop, the objective of this study was to estimate the willingness to pay (WTP) for attributes of Mexican chorizo, emphasizing the use of natural preservatives, as well as to compare the results obtained through online and in-person survey modes. A total of 419 surveys were administered (213 in-person and 206 online) using discrete choice experiments, where attributes such as color, type of preservative, origin, processing method, and price were evaluated. The collected information was analyzed using a multinomial logit model. In both modes, the type of preservative was the attribute with the greatest influence on choice, followed by the artisanal processing method and regional origin. The marginal WTP for natural preservatives reached \$363.00 MXN/kg in in-person surveys and \$438.00 MXN/kg online. For the artisanal attribute, the WTP was \$38.00 MXN/kg and \$45.00 MXN/kg, respectively. Although similar preference patterns were identified, online respondents presented a higher willingness to pay for differentiated attributes. The results highlight the market potential of meat products with natural preservatives and emphasize the importance of this data collection method in estimating consumer preferences.

Keywords: Discrete choice experiments, Consumer preferences, Economic valuation, Traditional food, Meat products.

Master's Thesis in Science. Program of Agro-Food Science and Technology,
Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Martin Jauregui Fuentes
Advisor: Dr. Emmanuel Flores Girón

3.3. Introducción

En los últimos años, la relación entre el consumidor y su alimentación ha experimentado una transformación significativa. La creciente conciencia por el bienestar ha redefinido las decisiones de compra, orientándolas hacia productos con formulaciones que garanticen la inocuidad a corto, mediano y largo plazo y que sean opciones más cercanas a lo saludable. Como respuesta a esta exigencia, la corriente del etiquetado limpio (*Clean Label*) ha impulsado la reformulación en la industria alimentaria, promoviendo la sustitución de aditivos sintéticos por ingredientes naturales. En este escenario, la investigación científica se ha enfocado en el desarrollo de insumos naturales multifuncionales, posicionándolos como una estrategia tecnológica clave para responder a las expectativas del mercado actual (Cunha Júnior et al., 2024).

Tradicionalmente, la preservación de la carne y sus derivados ha dependido de aditivos sintéticos como los nitritos y nitratos por su capacidad para fijar el color curado y prevenir el deterioro microbiano. Sin embargo, la evidencia científica sobre los potenciales riesgos a la salud derivados de su ingesta constante ha encendido las alarmas en el público, impulsando la búsqueda de alternativas más seguras. Ante este reto, ha cobrado fuerza el aprovechamiento de conservadores de origen natural tales como extractos botánicos, antioxidantes fenólicos y cultivos bioprotectores capaces de mantener la inocuidad y la vida útil sin comprometer el bienestar del consumidor (Shakil et al., 2022).

Esta transición tecnológica responde directamente a un mercado donde el consumidor prioriza alimentos percibidos como más limpios y saludables. Esta postura refleja una mayor conciencia por la salud y un especial aprecio por la autenticidad, los procesos artesanales y las fórmulas libres de aditivos artificiales. En embutidos emblemáticos como el chorizo mexicano, estos atributos representan elementos de diferenciación determinantes al momento de la compra (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021).

A pesar del creciente interés por el *Clean Label*, la evidencia empírica sobre cómo el consumidor mexicano valora estos atributos en la elaboración de embutidos tradicionales particularmente en el chorizo de cerdo es aún limitada. A esto se suma la falta de claridad sobre el impacto metodológico del método de encuesta, pues existe poca información respecto a cómo la recolección de datos (presencial en punto de venta versus digital en línea) puede inducir sesgos en la estimación de las preferencias y de la disposición a pagar (Hernández Valdivia et al., 2023).

Para entender este comportamiento y medir cuánto valora el mercado estos rasgos distintivos, la economía aplicada recurre a los Experimentos de Elección Discreta (EED). Fundamentada en la Teoría de la Utilidad Aleatoria (McFadden, 1974), esta metodología simula decisiones reales de compra para calcular la Disposición a Pagar (DAP) por atributos específicos, como la sustitución de conservadores químicos por aditivos naturales (Hanemann, 1984; Hernández Valdivia et al., 2023).

Es por ello, que el presente estudio tuvo como objetivo estimar las preferencias del consumidor y cuantificar la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg) por atributos de calidad y formulación en el chorizo de cerdo en México, contrastando la valoración de los conservadores naturales frente a los sintéticos y evaluando la consistencia metodológica entre el levantamiento de datos de manera presencial y en línea.

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Experimento de Elección Discreta (EED)

Un Experimento de Elección Discreta (EED) se llevó a cabo con el propósito para analizar y cuantificar la estructura de preferencias de los consumidores de chorizo en México. La selección, delimitación y operacionalización de los atributos, así como sus respectivos niveles, se llevó a cabo a través de una revisión sistemática de literatura y análisis de mercado, identificando los factores extrínsecos e intrínsecos de mayor relevancia en la decisión de compra de productos cárnicos procesados. Los atributos incorporados en el diseño experimental fueron: color (naranja, rojo brillante y rojizo marrón), como indicador

de frescura y apariencia; tipo de conservador (sin conservador, bioconservador natural y conservador químico), para evaluar la valoración económica de la tendencia *Clean Label*; origen o región geográfica (local, regional y nacional), como atributo de procedencia y tipicidad; proceso de elaboración (artesanal, semimecanizado y mecanizado), como atributo diferenciador del grado de procesamiento industrial; y precio (\$140, \$170 y \$200 MXN/kg), como variable económica requerida para la estimación de la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg). La matriz sintética de los atributos, niveles y la condición de línea base (Estatus Quo) se sintetiza en el Cuadro 2. (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021).

Cuadro 2. Atributos y niveles del experimento de elección discreta

Atributos	Estatus quo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Color	Rojo brillante	Naranja	Rojo brillante	Rojizo marrón
Conservador	Químicos: nitratos y nitritos	Sin conservador	Bioconservador natural	Conservador químico
Origen	-----	Local	Regional	Nacional
Proceso de elaboración	-----	Artesanal	Semimecanizado	Mecanizado
Precio	\$120.00 MXN.	\$140.00 MXN.	\$170.00 MXN.	\$200.00 MXN.

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

3.4.2. Diseño Experimental

Para evaluar la combinación de los atributos y sus respectivos niveles sin incurrir en la saturación cognitiva del encuestado, el arreglo experimental se construyó a través de un diseño factorial fraccionado.

La combinación completa del espacio de atributos habría generado un diseño factorial completo muy poco práctico de aplicar ($3^5 = 243$ combinaciones); por ende, la reducción fraccionada permitió maximizar la eficiencia ortogonal e informacional del experimento con el menor número posible de perfiles de producto.

Mediante este procedimiento, implementado en el programa estadístico RStudio (v. 2024.04.2), se obtuvieron 16 alternativas hipotéticas de producto (tarjetas de elección), las cuales se estructuraron de manera balanceada en ocho conjuntos de elección. Cada conjunto se diseñó bajo un esquema de elección, presentando al participante dos alternativas hipotéticas de chorizo de cerdo (Opción A y Opción B) más una opción neutra o de no compra ("Ninguna") (Figura 3). Esta tercera alternativa garantiza el cumplimiento del supuesto de la Teoría de la Utilidad Aleatoria, permitiendo que el consumidor no sea forzado a elegir una opción si ninguna satisface su utilidad mínima (McFadden, 1974). La matriz final de combinaciones de atributos y niveles por tarjeta se detalla en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Combinaciones de atributos y niveles

ID	Proceso	Conservador	Origen	Precio	Color
1	Mecanizado	Bioconservador natural	Local	\$ 170.00	Naranja
2	Semi mecanizado	Sin conservador	Nacional	\$ 200.00	Naranja
3	Artesanal	Conservador químico	Regional	\$ 200.00	Rojo brillante
4	Semi mecanizado	Bioconservador natural	Nacional	\$ 140.00	Rojo brillante
5	Semi mecanizado	Bioconservador natural	Nacional	\$ 200.00	Rojizo marrón
6	Artesanal	Bioconservador natural	local	\$ 170.00	Rojo brillante

7	Semi mecanizado	Bioconservador natural	Local	\$ 200.00	Rojo brillante
8	Mecanizado	Sin conservador	Nacional	\$ 170.00	Rojo brillante
9	Mecanizado	Conservador químico	Local	\$ 140.00	Rojizo marrón
10	Artisanal	Sin conservador	Local	\$ 200.00	Rojo brillante
11	Artisanal	Conservador químico	Nacional	\$ 170.00	Rojo brillante
12	Semi mecanizado	Sin conservador	Regional	\$ 140.00	Rojo brillante
13	Mecanizado	Conservador químico	Nacional	\$ 140.00	Rojo brillante
14	Mecanizado	Sin conservador	Nacional	\$ 170.00	Rojizo marrón
15	Artisanal	Sin conservador	Local	\$ 140.00	Rojo brillante
16	Mecanizado	Sin conservador	Regional	\$ 200.00	Rojo anaranjado

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

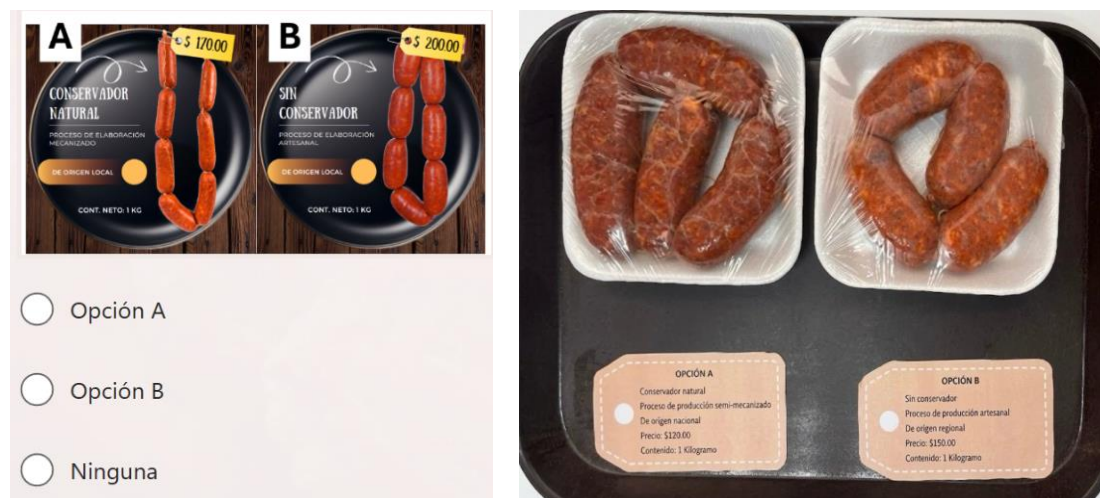


Figura 3. Ejemplo de conjunto de tarjetas en línea (izquierda) y presencial (derecha)

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

3.4.3. Muestreo y Trabajo de Campo

El cálculo del tamaño muestral se fundamentó en la teoría del muestreo probabilístico para poblaciones infinitas o indeterminadas, considerando que el universo potencial de consumidores de chorizo en la región comprende un

número de individuos mayor a 100,000 habitantes. La determinación del número mínimo de observaciones requeridas se realizó mediante la siguiente ecuación estadístico-inferencial (Cochran, 1977):

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra,

Z es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$),

p es la probabilidad de ocurrencia o proporción esperada ($p = 0.5$),

q es la probabilidad de no ocurrencia ($q = 1 - p = 0.5$), y

e es el margen de error máximo permitido ($e = 0.07$, correspondiente al 7%).

Se asumió máxima varianza ($p = 0.5$) y un margen de error del 7% ($e = 0.07$). Al sustituir dichos parámetros en la expresión matemática:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot (0.5) \cdot (0.5)}{(0.07)^2} = \frac{3.8416 \cdot 0.25}{0.0049} = 196$$

se obtuvo una muestra mínima calculada de 196 unidades muestrales. Dicho valor se ajustó a un tamaño objetivo de $n = 200$ encuestas válidas para absorber posibles omisiones de llenado o sesgos de respuesta, garantizando así la solidez estadística e inferencial en la estimación de los parámetros econométricos (Hernández Valdivia et al., 2023).

La fase de levantamiento de información se ejecutó a través de una estrategia de muestreo no probabilístico por conveniencia y bola de nieve, combinando un canal de captura en modalidad digital con una modalidad presencial. La recolección en línea se administró mediante la plataforma Google Forms, implementando controles de seguridad por dirección IP y registro único para restringir la participación a un solo envío por usuario. Por su parte, la aplicación

presencial se llevó a cabo en las instalaciones de una institución de educación superior en el Estado de México. Para asegurar la idoneidad analítica de los informantes, la selección de la unidad muestral se condicionó estricta y secuencialmente al cumplimiento de tres criterios de inclusión:

- Ser mayor de edad (mayor de 18 años)
- Ser consumidor habitual u ocasional de chorizo de cerdo
- Otorgar el consentimiento informado para la participación voluntaria en el estudio.

El instrumento de recolección de información se estructuró de manera lógica en tres secciones independientes:

- Sección I. Hábitos de consumo y caracterización de compra: Orientado a determinar la frecuencia de consumo y los canales de adquisición principales.
- Sección II. Experimento de Elección Discreta (EED): Constituyó el núcleo analítico de la encuesta, donde se presentaron secuencialmente los ocho conjuntos de elección para evaluar el proceso de decisión del consumidor.
- Sección III: Perfil sociodemográfico: Diseñado para registrar las variables de control (lugar de residencia, edad, género, ocupación, nivel educativo de instrucción e intervalo de ingreso familiar mensual), indispensables para capturar la heterogeneidad no observada en la estimación de los modelos econométricos.

3.4.4. Especificación Econométrica

Los experimentos de elección discreta se fundamentan microeconómicamente en la Teoría de la Utilidad Aleatoria, propuesta por McFadden (1974), la cual asume que la utilidad total que un individuo i deriva al elegir una alternativa j no es totalmente observable por el investigador, por lo que se descompone en un componente determinístico o explicable y un término de error estocástico (Cerdeña, 2011). Matemáticamente, la función de utilidad se expresa como:

$$U_{ij} = V_{ij}(Z_{ij}, S_i) + \varepsilon_{ij}$$

donde U_{ij} representa la utilidad total percibida por el consumidor i ante la opción j ; V_{ij} es el componente determinístico o sistemático de la utilidad indirecta, parametrizado en función de los atributos del producto (Z_{ij}) y las características sociodemográficas del individuo (S_i); mientras que ε_{ij} constituye el término de error aleatorio que captura los factores no observados y la heterogeneidad no modelada en la decisión.

Para estimar la probabilidad de que un consumidor elija una alternativa j dentro del conjunto de elección, se empleó el Modelo Logit Multinomial (MLM). Asumiendo que los términos de error ε_{ij} se distribuyen de manera independiente e idénticamente, la especificación empírica de la función de utilidad observable se definió como:

$$V_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Precio} + \beta_2 \text{Color} + \beta_3 \text{Conservador} + \beta_4 \text{Región} + \beta_5 \text{Proces} + \beta_s S_i$$

donde V_{ij} es la utilidad observable asociada a la alternativa j ; β_0 es el término constante de la alternativa (o intercepto); β_1 representa el coeficiente marginal asignado a la variable económica precio; $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ representan los atributos del producto y β_s las variables sociodemográficas (Marcos-Toxqui et al., 2026).

A partir de los parámetros econométricos estimados por el modelo, se determinó la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg), la cual cuantifica la tasa marginal de sustitución entre un atributo específico del producto y la variable monetaria. Este indicador refleja el monto económico adicional (o la compensación requerida) que el consumidor está dispuesto a desembolsar por la presencia de una característica o nivel determinado. La DAPMg se estimó aplicando el cociente negativo entre el coeficiente del atributo de interés y el coeficiente marginal del precio (Thies et al., 2024):

$$DAPM_g = -\frac{\beta_a}{\gamma}$$

Donde β_a es el coeficiente del atributo y γ es el coeficiente del precio. El cálculo se realizó en Microsoft Excel (Microsoft Corporation 365).

3.4.5. Validación Econométrica y Estadística Inferencial

Para la estimación de los parámetros econométricos, la variable precio se especificó como una variable continua con el fin de obtener un único coeficiente marginal para la constante de utilidad monetaria y facilitar el cálculo directo de la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg). Por su parte, los atributos cualitativos (color, tipo de conservador, región de origen y proceso de elaboración) se trataron como variables categóricas explicativas.

La significancia estadística individual de los coeficientes estimados se evaluó mediante la prueba de Wald con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ ($p < 0.05$) (Méndez-Ordoñez et al., 2025). La bondad de ajuste global del modelo econométrico se determinó a través del pseudo- R^2 de McFadden. De manera complementaria, la validación del modelo se contrastó mediante el criterio de máxima verosimilitud (Log-Likelihood), el test de la razón de verosimilitud (LR), así como la consistencia teórica y coherencia en los signos esperados de los estimadores (Melo-Guerrero et al., 2020). El procesamiento de la información se ejecutó mediante el software estadístico XLSTAT (v. 2023.2.1414).

3.5. Resultados y Discusión

3.5.1. Muestreo y Trabajo de Campo

Se obtuvieron un total de 419 encuestas válidas, superando el tamaño mínimo muestral calculado para ambas modalidades ($n = 202$). 213 cuestionarios se recabaron mediante la modalidad presencial y 206 a través en modalidad digital en línea. Para examinar la cobertura geográfica, los participantes se clasificaron en tres regiones del país según su lugar de residencia:

- Norte: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Sinaloa y Zacatecas.
- Centro: Ciudad de México, Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Colima, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí, Hidalgo, Nayarit, Tlaxcala, Puebla y Morelos.

- Sur: Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Guerrero.

En la modalidad presencial (Figura 4), predominó un perfil joven (18–31 años), con nivel educativo superior y principalmente de ocupación estudiante. El consumo de chorizo fue categorizado como moderado con mayor frecuencia en las regiones Norte y Sur. Los puntos de compra habituales fueron carnicerías locales y mercados tradicionales, reflejando un arraigo por canales de comercialización artesanales, aunque condicionado por una sensibilidad al precio.

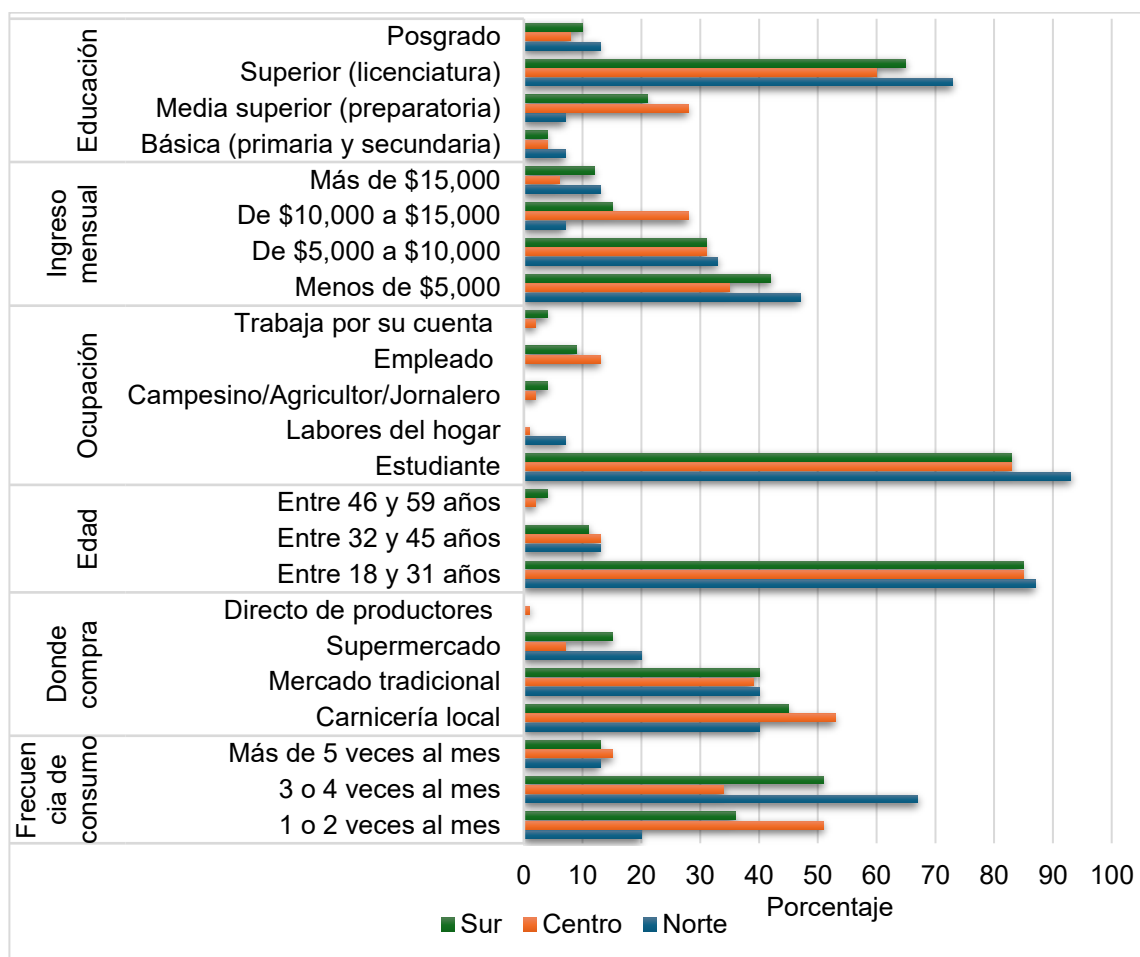


Figura 4. Características socioeconómicas, demográficas y de consumo de los encuestados de manera presencial.

Perfil modalidad en Línea (Figura 5): se registró un perfil predominantemente joven y de nivel educativo superior, pero con mayor proporción de personas

compitiendo en el mercado laboral activo y con rangos de ingreso mensual más elevados. La frecuencia de consumo reportada fue menor (una a dos veces al mes), adquiriendo el producto entre carnicerías locales y supermercados. Este perfil representa a un segmento de mayor capacidad adquisitiva y menor sensibilidad al costo.

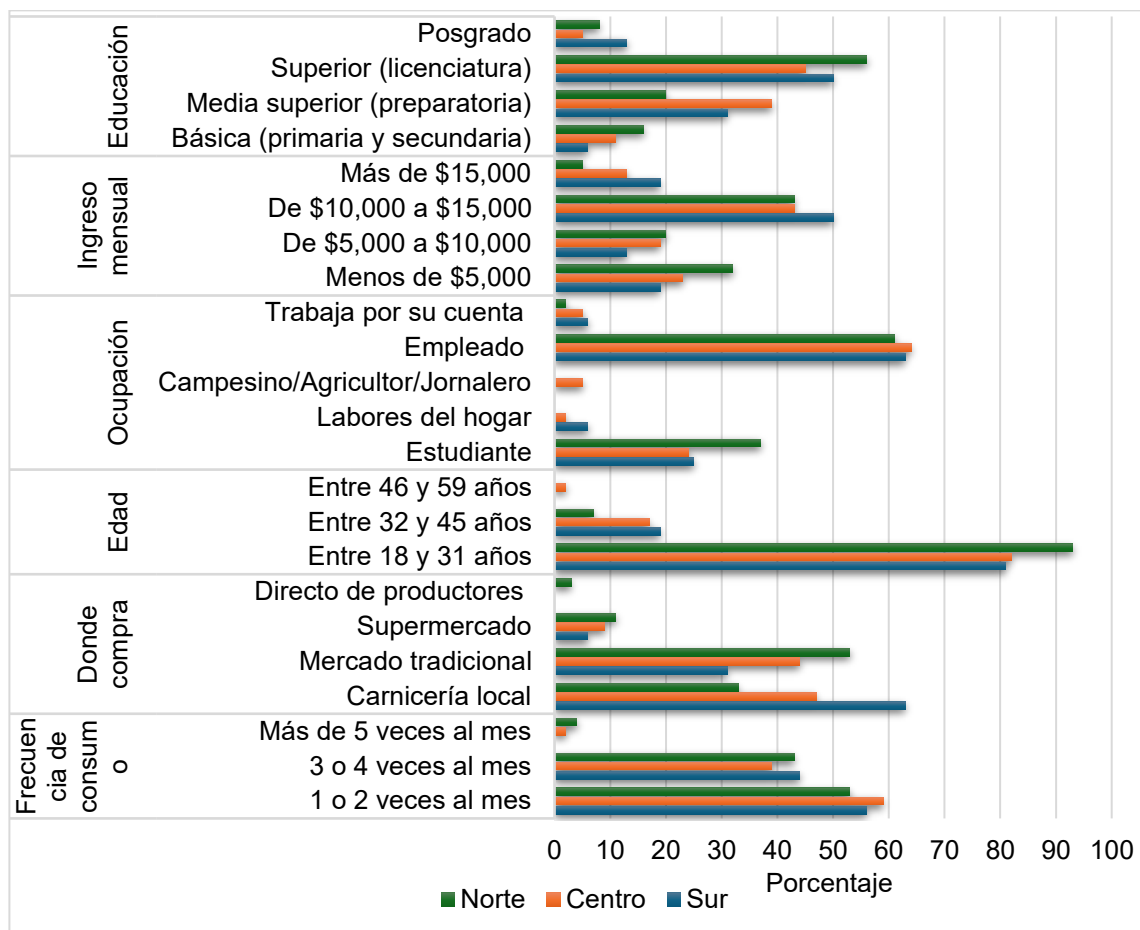


Figura 5. Características socioeconómicas, demográficas y de consumo de los encuestados de manera en línea.

3.5.2. Especificación Econométrica

La estimación econométrica se realizó de manera independiente para cada modalidad de levantamiento (presencial y en línea) mediante el Modelo Logit Multinomial (MLM). En ambas estimaciones, la variable Precio se especificó como continua, mientras que los atributos cualitativos se integraron como variables categóricas, fijando como nivel de referencia normalizado a cero el proceso Mecanizado, el origen Nacional y el color Rojizo marrón. En el Cuadro 4

(presencial) y en el cuadro 5 (en línea) se presentan los parámetros estimados, errores estándares y el estadístico Wald.

Cuadro 4. Estimación del Modelo Logit Multinomial para el modelo presencial

	Nivel	Coefficiente	Error estándar	Chi ² Wald	Pr > Chi ²
Intercepción	Intercepción	-2.032	0.379	28.755	< 0.0001
	Natural	6.179	0.366	285.423	< 0.0001
Conservador	Químico	4.002	0.321	155.476	< 0.0001
	Sin conservador	4.591	0.332	191.511	< 0.0001
Proceso de elaboración	Artesanal	0.662	0.131	25.493	< 0.0001
	Semimecanizado	-0.012	0.099	0.015	0.904
	Mecanizado	0.000	0.000		
	Local	-0.325	0.097	11.143	0.001
Origen	Regional	0.661	0.111	35.281	< 0.0001
	Nacional	0.000	0.000		
	Naranja	-0.102	0.139	0.537	0.464
Color	Rojo brillante	-0.561	0.114	24.200	< 0.0001
	Rojizo marrón	0.000	0.000		
	Precio	-0.017	0.002	94.980	< 0.0001

Nivel de significancia estandarizado ($\alpha = 0.05$): Todos los niveles con $p < 0.05$ influyen de manera estadísticamente significativa en la utilidad del consumidor.

Cuadro 5. Resultado de la estimación del modelo logit multinomial del modelo en línea.

	Nivel	Coeficiente	Error estándar	Chi² Wald	Pr > Chi²
Intercepción	Intercepción	-1.619	0.268	36.471	< 0.0001
	Natural	3.510	0.358	96.263	< 0.0001
Conservador	Químico	1.338	0.321	17.393	< 0.0001
	Sin conservador	2.433	0.331	54.111	< 0.0001
Proceso de elaboración	Artesanal	0.365	0.138	6.965	0.008
	Semimecanizado	0.148	0.101	2.144	0.143
	Mecanizado	0.000	0.000		
	Local	0.161	0.100	2.619	0.106
Origen	Regional	0.658	0.117	31.777	< 0.0001
	Nacional	0.000	0.000		
	Naranja	-0.450	0.141	10.243	0.001
Color	Rojo brillante	-0.383	0.118	10.531	0.001
	Rojizo marrón	0.000	0.000		
	Precio	-0.008	0.002	18.172	< 0.0001

Nivel de significancia estandarizado ($\alpha = 0.05$): Todos los niveles con $p < 0.05$ influyen de manera estadísticamente significativa en la utilidad del consumidor.

3.5.3. Validación Econométrica y Estadística Inferencial

Bondad de Ajuste Global.

El modelo presencial alcanzó un Pseudo- R^2 de McFadden de 0.160, mientras que el modelo en línea registró un valor de 0.118. En experimentos de elección discreta sobre comportamiento del consumidor, valores de Pseudo- R^2 situados entre 0.10 y 0.20 indican un ajuste adecuado y robusto, concordante con los

estándares de la literatura econométrica aplicados a modelos de elección humana no forzada (Bazzani et al., 2024).

Los modelos Logit Multinomiales estimados mostraron un ajuste con valores de Pseudo- R^2 de McFadden de 0.160 para la modalidad presencial y 0.118 para la modalidad en línea. En experimentos de elección discreta sobre comportamiento del consumidor, valores comprendidos entre 0.10 y 0.20 son considerados por la literatura econométrica especializada como indicadores de un ajuste adecuado y consistente para modelar decisiones humanas no forzadas (Bazzani et al., 2024).

La ligera diferencia entre ambas modalidades (0.160 vs 0.118) sugiere una mayor homogeneidad en el proceso de elección presencial, atribuible al acompañamiento del encuestador y a una menor distracción cognitiva durante el llenado. Por el contrario, el modelo en línea refleja una mayor heterogeneidad en las preferencias del consumidor digital, lo cual es concordante con las mayores variaciones y disposiciones a pagar marginales detectadas en dicha muestra para atributos como el uso de conservadores naturales (\$438.00 MXN/kg). En conjunto, la solidez del ajuste del modelo valida la confiabilidad de las estimaciones de DAP y confirma que la preferencia por tecnologías de bioconservación responde a un patrón de elección estructurado en el mercado mexicano de embutidos.

Evaluación de Multicolinealidad

A pesar del uso de un diseño factorial fraccionado ortogonal, se observó redundancia lineal en el nivel *mecanizado* (proceso), *rojizo marrón* (color) y *nacional* (origen). Este fenómeno ocurre cuando los consumidores perciben e integran estos atributos bajo un concepto holístico unificado (Marcos-Toxqui et al., 2026), lo cual es atribuible a la alta heterogeneidad y arraigo regional que caracterizan a las formulaciones de chorizo en el país (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021).

Análisis de Atributos

Precio: En ambos modelos, la variable “Precio” exhibió coeficientes estadísticamente significativos ($p < 0.0001$) y con el signo negativo esperado ($\beta = -0.017$ presencial; $\beta = -0.008$ en línea), ratificando la validez microeconómica del experimento al cumplir con la Ley de la Demanda, indicando una relación inversamente proporcional entre el costo del producto y la utilidad indirecta percibida por el consumidor (McFadden, 1974).

En el contexto de este estudio, el parámetro del precio cumple una función metodológica fundamental al actuar como el marginalizador monetario de la función de utilidad. Esto permite transformar la preferencia cualitativa por las tecnologías de conservación en estimaciones monetarias concretas de Disposición a Pagar (DAP).

Conservador: Todos sus niveles fueron estadísticamente significativos en ambas modalidades ($p < 0.05$) y positivos. Los coeficientes positivos ($\beta > 0$) en todos los niveles del atributo indican una relación directamente proporcional con la función de utilidad indirecta del consumidor; es decir, la presencia explícita de estos métodos de conservación incrementa la probabilidad de elección del producto. La mayor magnitud observada en la categoría “Natural” ($\beta = 6.179$ presencial; $\beta = 3.510$ en línea) evidencia que, si bien el mercado reconoce la necesidad de asegurar la vida de anaquel de los embutidos, existe una marcada preferencia por tecnologías de bioconservación. Este hallazgo sustenta la viabilidad comercial de la formulación e incorporación de bioconservadores naturales, ya que maximiza la utilidad percibida en comparación con los aditivos sintéticos y con la ausencia total de conservación (Becerril Sánchez et al., 2019).

La marcada preferencia y la elevada Disposición a Pagar Marginal obtenida por el atributo “Natural” (\$363.00 MXN/kg presencial; \$438.00 MXN/kg en línea) superaron cuantitativamente a cualquier otro atributo evaluado en el modelo. Este resultado coincide con lo reportado por Hernández Valdivia et al. (2023), quienes identificaron que los consumidores mexicanos de carne de cerdo muestran una prima de precio significativa hacia atributos que garantizan la inocuidad y la

ausencia de insumos sintéticos. Asimismo, en el ámbito de la industria de embutidos, Nieto et al. (2018) señalaron que la disposición a pagar por productos cárnicos procesados aumenta sustancialmente cuando se emplean extractos naturales o bioconservadores que sustituyen a las sales de curado convencionales, debido al temor asociado a los residuos de nitrosaminas. En el contexto de esta investigación, el alto valor monetario asignado a la bioconservación confirma que la sustitución de nitritos por nisina no solo satisface una necesidad tecnológica de estabilidad microbiológica en la matriz cárnica, sino que se alinea perfectamente con la demanda del mercado por productos cárnicos de etiqueta limpia (*Clean Label*).

Proceso de Elaboración: El hecho de que únicamente el nivel “Artesanal” haya resultado positivo y estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en ambas modalidades ($\beta = 0.662$ presencial; $\beta = 0.365$ en línea), demuestra que la diferenciación en la escala de procesamiento es altamente valorada por el consumidor, actuando como un promotor directo de la utilidad indirecta percibida.

En el marco de la formulación cárnica desarrollada en este estudio, este hallazgo es de suma relevancia, ya que respalda la viabilidad de comercializar un embutido de perfil artesanal mantenido mediante la mezcla de especias y procesos tradicionales, cuya vida de anaquel e inocuidad sean aseguradas mediante bioconservación. La combinación de una elaboración artesanal con tecnologías de conservación natural captura simultáneamente los dos atributos de mayor preferencia en el mercado, estableciendo una ventaja competitiva frente a las alternativas industrializadas o mecanizadas.

La prima positiva otorgada al “Proceso Artesanal” (\$38.00 MXN/kg presencial y \$45.00 MXN/kg en línea) contrasta con la penalización e indiferencia mostrada hacia los procesos mecanizados y semimecanizados. Estos hallazgos son consistentes con lo observado por Ovando-Flores & Thomé-Ortiz (2021) en chorizos tradicionales del Estado de México, donde el consumidor vincula el concepto artesanal con atributos organolépticos superiores y patrimonio gastronómico.

Origen: El nivel “Regional” mostró una significancia estadística alta ($p < 0.05$) y un coeficiente positivo ($\beta = 0.661$) en ambas metodologías, confirmando que el origen actúa como un atributo clave de señalización de calidad y tradición en embutidos típicos. Por el contrario, el nivel “Local” presentó un coeficiente negativo ($\beta = -0.325$; $p = 0.001$), lo que sugiere que el consumidor asocia el ámbito estrictamente local con una potencial falta de estandarización o de controles de inocuidad. En el contexto de este trabajo, la preferencia por la escala regional valida la estrategia de escalamiento del producto: la incorporación de Bioconservadores otorga la estabilidad microbiológica necesaria para que un embutido de identidad regional pueda ser distribuido y comercializado en cadenas o puntos de venta más amplios sin perder su valor percibido de origen (Jaramillo Villanueva et al., 2018).

De igual forma, la señalización de un origen “regional” actúa como una marca colectiva de tipicidad que proyecta estandarización y calidad, superando al ámbito puramente local, el cual suele asociarse a falta de procesos estandarizados en el manejo higiénico. Por ende, la combinación en la formulación, validada en este estudio artesanal, de tipicidad regional y estabilizada mediante Bioconservadores captura el nicho de mercado de mayor valor percibido (Jaramillo Villanueva et al., 2018).

Color: El análisis econométrico mostró que el nivel “Rojo brillante” presentó una significancia estadística alta ($p < 0.0001$) con un coeficiente negativo ($\beta = -0.561$) respecto a la categoría “Rojizo marrón”. Contrario a indicar que el color carece de relevancia, el signo negativo evidencia un rechazo o menor utilidad percibida por tonalidades excesivamente intensas o fosforescentes, las cuales son comúnmente asociadas por el consumidor con el uso desmedido de colorantes sintéticos (PROFECO, 2024).

En la matriz cárnica desarrollada en este trabajo, la combinación de chiles secos, especias en polvo y la adición calibrada de sales de curado origina una tonalidad rojizo-marrón natural. Por lo tanto, la penalización econométrica hacia el color

“Rojo brillante” confirma que el perfil estético resultante de la formulación con Bioconservadores se alinea con las expectativas visuales del mercado, evitando la necesidad de incorporar colorantes artificiales adicionales.

Disposición a Pagar Marginal (DAPMg)

El cálculo de la DAPMg se realizó exclusivamente sobre aquellos niveles que resultaron estadísticamente significativos ($p < 0.05$) y con impacto positivo en la utilidad ($+\beta$), (cuadro 6 para modalidad presencial y cuadro 7 para modalidad en línea) ya que representan los atributos genuinamente valorados por el mercado.

Cuadro 6. Disposición a pagar marginal del modelo presencial.

Atributos	Niveles	Coeficiente	DAPMg
Conservador	Natural	6.179	363
	Químico	4.002	235
	Sin conservador	4.591	270
Proceso de elaboración	Artesanal	0.662	38
Origen	Regional	0.661	38
Precio		-0.017	

Cuadro 7. Disposición a pagar marginal del modelo en línea.

Atributos	Niveles	Coeficiente	DAPMg
Conservador	Natural	3.510	438
	Químico	1.338	167
	Sin conservador	2.433	304
Proceso de elaboración	Artesanal	0.365	45
Origen	Regional	0.658	82
Precio		-0.008	

Los consumidores mostraron la mayor prima de precio por la innovación en la tecnología de conservación. La Disposición a Pagar Marginal por un chorizo adicionado con bioconservadores naturales alcanzó los \$363.00 MXN/kg en el modelo presencial y \$438.00 MXN/kg en el modelo en línea. Esta discrepancia

refleja una menor sensibilidad al precio, en la muestra digital, asociada a un perfil sociodemográfico con mayor poder adquisitivo.

En cuanto al proceso de elaboración, las primas adicionales sobre el precio base por el atributo artesanal se situaron en \$38.00 MXN/kg (presencial) y \$45.00 MXN/kg (en línea). Por su parte, la señalización de origen regional otorgó un valor diferencial de \$38.00 MXN/kg en el mercado presencial, elevándose a \$82.00 MXN/kg en el canal digital. En conjunto, estos hallazgos consolidan a la procedencia regional y a la bioconservación natural como los pilares determinantes para la agregación de valor comercial en la industria de embutidos artesanales.

El contraste entre las dos metodologías de levantamiento evidenció que el canal en línea generó estimaciones de DAPMg consistentemente superiores en todos los atributos estadísticamente significativos. Esta variación sistemática encuentra respaldo en la literatura econométrica sobre Experimentos de Elección Discreta (Bazzani et al., 2024). De acuerdo con Lusk & Schroeder (2004), las encuestas digitales autoadministradas tienden a magnificar la disposición a pagar debido a un mayor sesgo hipotético, a diferencia de la modalidad presencial en punto de venta, donde la interacción con el encuestador y el contexto de compra imponen un mayor rigor presupuestario en las decisiones declaradas por el informante.

3.6. Conclusiones

El análisis econométrico realizado mediante el Modelo Logit Multinomial permitió identificar la estructura de preferencias y cuantificar la Disposición a Pagar Marginal (DAPMg) de los consumidores mexicanos hacia atributos diferenciadores en el chorizo de cerdo, demostrando que la tendencia *Clean Label* representa el principal motor de agregación de valor económico en este mercado.

El tipo de conservador se consolidó como el atributo de mayor peso cuantitativo en la decisión de compra. En ambas modalidades de encuesta, la incorporación de un bioconservador natural generó los coeficientes de utilidad y las primas de

precio más elevadas (363.00 MXN/kg en modalidad presencial y \$438.00 MXN/kg en modalidad en línea), superando tanto a los productos sin conservador como a los formulados con aditivos sintéticos. Esto confirma que el mercado nacional valora de forma positiva la sustitución tecnológica de nitritos por alternativas naturales.

Los atributos de carácter identitario demostraron una influencia significativa en la probabilidad de elección. La indicación de un origen Regional y un proceso de elaboración Artesanal obtuvieron valoraciones económicas adicionales consistentes, funcionando como señales de calidad, tipicidad y autenticidad sensorial frente a las alternativas industrializadas o de cobertura nacional.

Se comprobó que el método de encuesta introduce variaciones metodológicas relevantes en las estimaciones econométricas. Este hallazgo demuestra la importancia de controlar el canal de muestreo al proyectar precios de mercado o tomar decisiones de reformulación agroindustrial basándose en experimentos de elección discreta.

En síntesis, los resultados aportan evidencia empírica clave para la industria cárnica mexicana, indicando que la transición hacia ingredientes de etiquetado limpio, vinculada a una estrategia de diferenciación regional y producción artesanal, no solo responde a las nuevas exigencias de inocuidad del consumidor, sino que también ofrece un margen comercial rentable sustentado en la disposición a pagar del mercado.

3.7. Literatura Citada

- Bazzani, C., Maesano, G., Begalli, D., & Capitello, R. (2024). Exploring the effect of naturalness on consumer wine choices: Evidence from a survey in Italy. *Food Quality and Preference*, 113, 105062. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105062>
- Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coter, D., Quintero-Salazar, B., Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coter, D., & Quintero-Salazar, B. (2019). La calidad sanitaria del chorizo rojo tradicional que se comercializa en la ciudad de Toluca, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(1), 172–185. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4344>

- Cerda, C. (2011). Una aplicación de experimentos de elección para identificar preferencias locales por opciones de conservación y desarrollo en el extremo sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 297–307. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300011>
- Cochran, W. G. (1977). Sampling Techniques. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Cunha Júnior, P. C. da, Silva, M. T. de C., Barbosa, M. I. M. J., & Ferreira, E. H. da R. (2024). Application of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder as a multifunctional ingredient in Greek yogurt. *Ciência Rural*, 54, e20220688. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220688>
- Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J. H., Damián, M. Á. M., Hernández Valdivia, M. S., Melo Guerrero, E., Valdivia Alcalá, R., Valenzuela Núñez, L. M., Ortiz, J. H., & Damián, M. Á. M. (2023). Análisis de la disponibilidad a pagar por carne de cerdo libre de antibióticos, un enfoque de Experimentos de Elección. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(3), 658–671. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6062>
- Jaramillo Villanueva, J. L., Vargas López, S., Rojas Juárez, L. A., Jaramillo Villanueva, J. L., Vargas López, S., & Rojas Juárez, L. A. (2018). Valoración contingente y disponibilidad a pagar por atributos intangibles en carne de bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(1), 14–31. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4376>
- Lusk, J. L., & Schroeder, T. C. (2004). Are Choice Experiments Incentive Compatible? A Test with Quality Differentiated Beef Steaks. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(2), 467–482. <https://doi.org/10.1111/j.0092-5853.2004.00592.x>
- Marcos-Toxqui, J. G., Espejel-García, A., Barrera-Rodriguez, A. I., Flores-Girón, E., Marcos-Toxqui, J. G., Espejel-García, A., Barrera-Rodriguez, A. I., & Flores-Girón, E. (2026). Experimentos de elección discreta: Preferencia de consumo de mezcal de Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 17(2). <https://doi.org/10.29312/remexca.v17i2.4015>
- McFadden, D. (1974) *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. Frontiers in Econometrics*, 105-142. - References—Scientific Research Publishing. (s/f). Recuperado el 26 de agosto de 2026, de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2068948>
- Melo-Guerrero, E., Hernández-Ortiz, J., Aguilar-Lopez, A., Rodríguez-Laguna, R., Martínez-Damián, M. A., Valdivia-Alcalá, R., Razo-Zarate, R., Melo-Guerrero, E., Hernández-Ortiz, J., Aguilar-Lopez, A., Rodríguez-Laguna, R., Martínez-Damián, M. A., Valdivia-Alcalá, R., & Razo-Zarate, R. (2020). Experimentos de elección para el manejo del Parque Nacional Los Mármoles, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 26(2), 257–272. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.06.043>
- Méndez-Ordoñez, W. D., Espejel-García, A., Flores-Girón, E., Hernández-Montes, A., & Torres-Salas, V. (2025). Valuation and differentiation attributes in pulque distillate identified by means of discrete choice experiments. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/z162y102>
- M., J. E., Z., A., Santoyo, G., L., J. L., M., E., T., M., & Loeza-Lara, P. (2008). Bacteriocins of Gram positive bacteria: A potential source of new

- biomedical treatments. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 39, 49–57.
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. *Medicines*, 5(3), 98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>
- Ovando-Flores, H., & Thomé-Ortiz, H. (2021). Quality Seal for Artisanal Chorizo in Valle de Toluca: Keys to Obtaining a Collective Brand. *Agro Productividad*, 14(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1917>
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2024, junio). Estudio de calidad: ¿Puro chorizo? Conoce lo que te venden. *Revista del Consumidor*, (568), 32–47. https://www.profeco.gob.mx/revista/RevistaDelConsumidor_568_JUNIO_2024.pdf
- Schnettler, B., Ares, G., Sepúlveda, N., Bravo, S., Villalobos, B., Hueche, C., & Lobos, G. (2019). Are consumers willing to pay more for reformulated processed meat products in the context of the implementation of nutritional warnings? Case study with frankfurters in Chile. *Meat Science*, 152, 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.007>
- Shakil, M. H., Trisha, A. T., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. *Foods*, 11(21), 3355. <https://doi.org/10.3390/foods11213355>
- Thies, A. J., Altmann, B. A., Countryman, A. M., Smith, C., & Nair, M. N. (2024). Consumer willingness to pay (WTP) for beef based on color and price discounts. *Meat Science*, 217, 109597. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109597>

4. EFECTO DE LA NISINA SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA, FISICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DEL CHORIZO MEXICANO

4.1. Resumen

El chorizo tradicional mexicano elaborado de carne porcina, es un embutido crudo-curado de alto consumo e identidad cultural en México, caracterizado por el uso de especias y chiles secos. Sin embargo, su elevada actividad de agua y nutrientes lo hacen altamente susceptible al deterioro microbiológico y a desviaciones fermentativas durante la etapa de oreado, lo que representa un reto para la inocuidad y la vida útil comercial sin recurrir excesivamente a aditivos sintéticos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de nisina (12.5 y 25.0 mg/kg) sobre la composición bromatológica, los parámetros fisicoquímicos y la dinámica microbiológica en chorizo porcino durante nueve días de oreado. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3×3 , analizando los tratamientos T1 (Control, 0 mg/kg), T2 (Nisina 12.5 mg/kg) y T3 (Nisina 25.0 mg/kg) en los días 1, 5 y 9. La adición de nisina no alteró la composición bromatológica proximal (proteína, extracto etéreo y cenizas; $p > 0.05$). En los parámetros fisicoquímicos, la actividad de agua (a_w) mostró un descenso progresivo en todos los tratamientos por deshidratación, alcanzando valores de 0.8699 a 0.8920 al día 9 sin diferencias significativas ($p = 0.1290$). El potencial de hidrógeno (pH) exhibió una cinética de acidificación acentuada en presencia de nisina, alcanzando en T3 el valor más bajo al día 9 (4.96 ± 0.027 ; $p < 0.0001$). Microbiológicamente, la dosis de 25.0 mg/kg (T3) ejerció un control significativo ($p < 0.0001$), logrando reducir la carga final de coliformes totales a $3.11 \pm 0.10 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$ y modulando el crecimiento de bacterias mesófilas aerobias y ácido-lácticas sin erradicar la microflora benéfica. Se observó que la inclusión de nisina a 25.0 mg/kg optimiza la inocuidad y bioestabilidad del chorizo porcino, constituyendo una alternativa promisorio dentro de la tecnología de barreras para la sustitución parcial o total de conservadores sintéticos en embutidos madurados.

Palabras clave: Bioconservación, Etiqueta limpia, Bacteriocinas, Vida útil, Embutidos cárnicos.

Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Martín Jauregui Fuentes

Director de tesis: Dr. Emmanuel Flores Girón

EFFECT OF NISIN ON THE MICROBIOLOGICAL, PHYSICOCHEMICAL, AND BROMATOLOGICAL QUALITY OF MEXICAN CHORIZO

4.2. Abstract

Traditional Mexican pork chorizo is a widely consumed raw-cured sausage with deep cultural identity in Mexico, characterized by the use of spices and dried chili peppers. However, its high water activity and nutrient composition make it highly susceptible to microbiological spoilage and fermentative deviations during the drying phase, posing a challenge for safety and commercial shelf life without relying excessively on synthetic additives. The objective of this study was to evaluate the effect of nisin addition (12.5 and 25.0 mg/kg) on the bromatological composition, physicochemical parameters, and microbiological dynamics in pork chorizo over nine days of drying. A randomized complete block design with a 3×3 factorial arrangement was used, analyzing the treatments T1 (Control, 0 mg/kg), T2 (Nisin 12.5 mg/kg), and T3 (Nisin 25.0 mg/kg) on days 1, 5, and 9. The addition of nisin did not alter the proximal bromatological composition (protein, ether extract, and ash; $p > 0.05$). Regarding physicochemical parameters, water activity (a_w) exhibited a progressive decline across all treatments due to dehydration, reaching values from 0.8699 to 0.8920 by day 9, with no significant differences among treatments ($p = 0.1290$). Potential of hydrogen (pH) displayed an enhanced acidification kinetics in the presence of nisin, with T3 reaching the lowest value on day 9 (4.96 ± 0.027 ; $p < 0.0001$). Microbiologically, the 25.0 mg/kg dose (T3) exerted significant control ($p < 0.0001$), reducing the final total coliform count to $3.11 \pm 0.10 \text{ Log}_{10} \text{ CFU/g}$ and modulating the growth of aerobic mesophilic and lactic acid bacteria without eradicating beneficial microflora. It was observed that the inclusion of nisin at 25.0 mg/kg optimizes the safety and biostability of pork chorizo, constituting a promising alternative within hurdle technology for the partial or total replacement of synthetic preservatives in cured sausages.

Keywords: *Biopreservation, Clean Label, Bacteriocins, Shelf life, Cured meat products.*

Master's Thesis in Science. Program of Agro-Food Science and Technology,
Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Martin Jauregui Fuentes

Advisor: Dr. Emmanuel Flores Girón

4.3. Introducción

En los últimos años, la industria alimentaria se ha transformado hacia el uso de ingredientes que garanticen la inocuidad y la calidad sensorial sin aditivos sintéticos. En el sector cárnico, esta demanda ha impulsado la tendencia Clean Label (etiquetado limpio), orientada a simplificar formulaciones sustituyendo conservadores químicos tradicionales por alternativas naturales o biológicas (Kim et al., 2025). Entre estas alternativas, las bacteriocinas producidas por bacterias ácido-lácticas destacan tecnológicamente por su inocuidad comprobada y su capacidad para inhibir patógenos y microorganismos deterioradores sin alterar las propiedades organolépticas del alimento (Hernández-Lozada et al., 2025).

Dentro de esta familia de péptidos antimicrobianos, la nisina sintetizada por *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* es el bioconservador más estudiado y utilizado industrialmente. Aprobada como aditivo (E234), ejerce acción bactericida contra microorganismos Gram⁺. Su mecanismo opera mediante la unión al lípido II de la membrana celular, formando poros estables que desestabilizan el potencial electroquímico e inducen la lisis celular (Shin et al., 2016).

El chorizo mexicano constituye un modelo de estudio idóneo y desafiante para evaluar la nisina. Al ser un embutido crudo madurado, su matriz combina tejido muscular de cerdo, materia grasa, especias, condimentos y acidez moderada. Aunque su baja actividad de agua (a_w) aporta cierta estabilidad, el producto es susceptible al deterioro por mesófilos aerobios, acidificación indeseable por bacterias ácido-lácticas endógenas y proliferación de coliformes totales, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Ovando-Flores & Thomé-Ortiz, 2021).

Sin embargo, transferir la eficacia *in vitro* de la nisina a matrices cárnicas reales implica interacciones complejas. La presencia de lípidos insaturados, la adsorción no específica en proteínas miofibrilares y la inactivación proteolítica por enzimas pueden comprometer la biodisponibilidad y bioactividad del péptido durante el almacenamiento (Bahrami et al., 2024). Por ende, además de cuantificar la inhibición cinético-microbiana, es indispensable monitorear la evolución del perfil bromatológico (humedad, cenizas, proteína y extracto etéreo)

y las variables fisicoquímicas críticas de estabilidad en el embutido, como la retención de agua, la pérdida de peso, la estabilidad de la emulsión, el pH y las coordenadas cromáticas instrumentales.

Bajo este marco, el propósito de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de nisina sobre la calidad microbiológica, la estabilidad fisicoquímica y el perfil bromatológico del chorizo de cerdo durante el almacenamiento. Como hipótesis, se planteó que la adición de nisina reducirá significativamente las poblaciones microbianas de deterioro, prolongando la vida útil del producto sin inducir desviaciones fisicoquímicas o bromatológicas adversas.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1. Formulación del chorizo de cerdo

Se estableció una formulación base estandarizada de chorizo rojo tradicional mexicano, la cual sirvió como tratamiento control (T1). Las proporciones de la matriz cárnica y la adición de especias, condimentos y sales de cura respecto a la masa total se presentan en el cuadro 8:

Cuadro 8. Formulación y estandarización del chorizo mexicano

Ingrediente / Insumo	Relación %	Ingrediente / Insumo	Relación %
Carne de cerdo (pierna)	80.00	Cebolla en polvo	0.20
Grasa de cerdo (lardo)	20.00	Pimienta negra molida	0.10
Chile guajillo molido	3.00	Cilantro molido	0.10
Sales de cura (Nitrito de sodio)	2.00	Orégano seco molido	0.05
Pimentón	1.50	Comino en polvo	0.05
Vinagre	5.00	Canela molida	0.02
Ajo molido	0.30	Clavo molido	0.02

Nota: Los porcentajes de aditivos, especias y vinagre están calculados con respecto a la masa cárnica total (100% = carne + grasa).

Diseño de Tratamientos e Incorporación de Nisina

Para evaluar el efecto antimicrobiano de la nisina, se empleó un bioconservador comercial en polvo estandarizado con cloruro de sodio (E234, pureza $\geq 2.5\%$ p/p de ingrediente activo, actividad $\geq 1,000$ IU/mg; RAFF® Dairy & Nutra Ingredients, Zapopan, Jalisco, México). Con base en la pureza del producto, 1 g de nisina comercial aporta 25 mg de ingrediente activo. Las concentraciones de nisina activa evaluadas (12.5 mg/kg y 25.0 mg/kg) se establecieron considerando los límites recomendados por el *Codex Alimentarius* (CODEX STAN, 1995) para productos cárnicos elaborados y las especificaciones de dosificación del fabricante (RAFF® Dairy & Nutra Ingredients), en concordancia con las disposiciones sobre aditivos permitidos aplicables a la NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2019).

Se evaluaron tres tratamientos definidos según la dosis de principio activo por kilogramo de masa cárnica. Para garantizar una dispersión homogénea del conservador y estandarizar el aporte de humedad, la nisina se incorporó disuelta en una solución acuosa estéril, fijando un vehículo constante de 50 mL de agua destilada estéril por kilogramo de pasta cárnica para todos los casos:

- Tratamiento 1 (Control - 0 mg/kg): Adición de 50 mL de agua destilada estéril por kilogramo de pasta cárnica, sin bioconservador.
- Tratamiento 2 (12.5 mg de nisina activa/kg): Adición de 0.5 g de nisina comercial disueltos en 50 mL de agua destilada estéril por kilogramo de pasta cárnica.
- Tratamiento 3 (25.0 mg de nisina activa/kg): Adición de 1.0 g de nisina comercial disueltos en 50 mL de agua destilada estéril por kilogramo de pasta cárnica.

Procedimiento de Elaboración del Chorizo

Para garantizar la correcta aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura, el empleo de una formulación estandarizada y la minimización de la variabilidad en la carga microbiológica inicial, se desarrolló un procedimiento operacional

para la elaboración del chorizo tradicional mexicano (Figura 6), en conformidad con la NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2019):

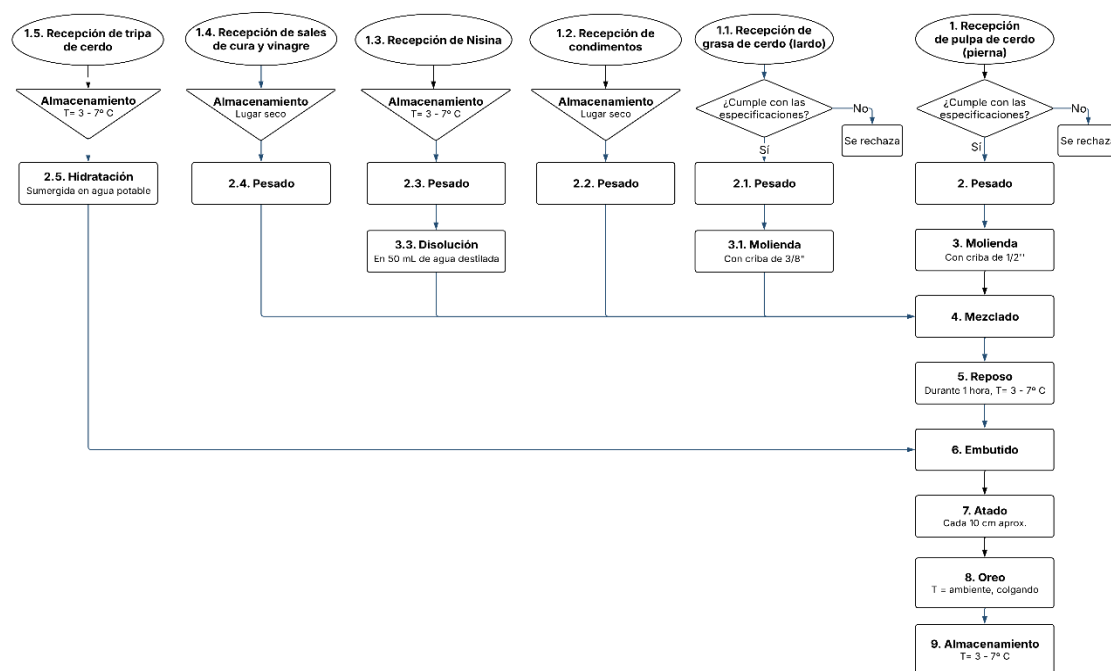


Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de chorizo mexicano

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

- 1. Recepción e Inspección de Materia Prima e Insumos:** La pulpa de pierna y el lardo de cerdo se sometieron a una inspección organoléptica y visual para verificar parámetros de frescura e higiene; las materias primas aprobadas se mantuvieron a temperatura de refrigeración (3 a 7 °C). La tripa de cerdo se inspeccionó y almacenó bajo condiciones de refrigeración (3 a 7 °C) hasta su acondicionamiento. El bioconservador nisina se almacenó en refrigeración (3 a 7 °C); mientras que las sales de cura, el vinagre, el chile guajillo en polvo y los condimentos se conservaron en un ambiente fresco y seco.
- 2. Pesado y Acondicionamiento de Insumos:** Con base en las proporciones descritas en el Cuadro 7, se calcularon y pesaron las cantidades requeridas de pulpa de cerdo, lardo, especias, vinagre y sales de cura para la preparación de unidades experimentales de 1 kg de masa final por tratamiento. La tripa natural de cerdo se sumergió en agua potable

para su hidratación y para desalar la cubierta que comercialmente tiene. Para los tratamientos T2 y T3, la dosificación de nisina comercial se disolvió previamente en 50 mL de agua destilada estéril a temperatura ambiente, garantizando la solubilización adecuada para su distribución homogénea en la matriz cárnica.

3. **Molienda:** La pierna de cerdo se procesó en el molino de carne utilizando una criba con diámetro de perforación de 1/2'' (12.7 mm). El lardo se molió de forma independiente empleando una criba con perforaciones de 3/8'' (9.52 mm) para facilitar su integración en la mezcla.
4. **Mezclado:** En un contenedor de acero inoxidable se incorporaron la carne y el lardo molidos, seguidos de los condimentos, sales de cura, vinagre y la solución acuosa del tratamiento correspondiente (50 mL de agua destilada estéril con o sin nisina). Se realizó un amasado manual constante hasta lograr la incorporación completa de los ingredientes y una pasta cárnica homogénea.
5. **Reposo / Maceración:** La pasta cárnica se mantuvo en reposo durante 1 hora bajo temperatura de refrigeración (3 a 7 °C) para favorecer el proceso de curado, la fijación del color y la difusión uniforme de los aditivos y especias.
6. **Embutido:** La mezcla acondicionada se introdujo en la tripa natural de cerdo previamente hidratada, compactando la masa para prevenir la formación de oquedades o bolsas de aire en el interior.
7. **Atado:** El embutido se ató manualmente con hilo de algodón, delimitando eslabones de aproximadamente 10 cm de longitud, conservando la morfología tradicional del producto.
8. **Oreado y Almacenamiento Experimental:** Los chorizos se suspendieron a temperatura ambiente para su etapa de oreo durante un periodo total de 9 días. Se extrajeron alícuotas para los análisis microbiológicos en los días 1, 5 y 9 de almacenamiento.

4.4.2. Análisis bromatológico proximal

Toma y Acondicionamiento de Muestras

Se recolectaron muestras de los tratamientos T1, T2 y T3 al quinto día posterior a la elaboración, momento en el cual se estabiliza la humedad relativa y la masa cárnica alcanza las propiedades fisicoquímicas óptimas para el consumo. La evaluación se estructuró mediante un diseño en tres bloques independientes, en cada uno de los cuales se prepararon las tres formulaciones en estudio:

- Tratamiento 1 (Control): 0 mg de nisina activa/kg.
- Tratamiento 2: 12.5 mg de nisina activa/kg.
- Tratamiento 3: 25.0 mg de nisina activa/kg.

Preparación y acondicionamiento de las muestras

La masa cárnica de cada unidad experimental se extrajo de la tripa natural, se homogeneizó en procesador y se congeló a -80 °C por 24 h. Posteriormente, las muestras se deshidrataron por liofilización para detener la actividad enzimática y microbiológica. Conforme al método AOAC 983.18 (AOAC, 2019), el material liofilizado se pulverizó en un molino de perlas hasta pasar por malla N° 18 y el polvo se almacenó por triplicado en frascos ámbar al vacío dentro de un desecador hasta su análisis.

Determinación de Materia Seca (MS) / Humedad

Siguiendo el método oficial AOAC 930.15 (AOAC, 2019), la humedad y materia seca se determinaron por secado en estufa de convección. Se pesaron 2.0 g de muestra en pesafiltros de aluminio a peso constante y se secaron a 105°C durante 16 a 18 h hasta masa constante. Tras enfriarse por 30 min en desecador con gel de sílice, las muestras se pesaron en balanza analítica (± 0.0001 g). El porcentaje de materia seca se calculó con la ecuación:

$$\% \text{ Materia Seca (MS)} = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \right) \times 100$$

Donde: W_1 = peso del pesafiltro vacío y tarado (g),

W_2 = peso del pesafiltro con muestra húmeda (g),

W_3 = peso del pesafiltro con muestra deshidratada (g)).

Determinación de Cenizas Totales

De acuerdo con el método AOAC 942.05 (AOAC, 2019), las cenizas se determinaron por calcinación en mufla. Se pesaron 2.0 g de muestra en crisoles de porcelana a peso constante y se pre-carbonizaron en parrilla de calentamiento. Posteriormente, se incineraron en mufla a 550°C durante 4 h hasta obtener cenizas de color blanco o gris claro. Los crisoles se enfriaron en desecador y se pesaron en balanza analítica (± 0.0001 g). El porcentaje de cenizas en base seca se determinó mediante la ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{W_c - W_0}{W_m} \right) \times 100$$

Donde: W_c = peso del crisol con las cenizas (g)

W_0 = peso del crisol vacío (g)

W_m = peso de la muestra seca inicial (g).

Determinación de Extracto Etéreo / Grasa Cruda

Conforme al método Soxhlet AOAC 920.39 (AOAC, 2019), el contenido lipídico se determinó por extracción continua sólido-líquido. Se pesó la muestra deshidratada en un cartucho libre de grasa y se sometió a reflujo continuo con éter de petróleo (p. eb. 30–60 °C) durante 6 h en un extractor Soxhlet. El solvente se evaporó en rotavapor y el matraz con el residuo graso se secó en estufa a 105 °C por 30 min, se enfrió en desecador y se pesó en balanza analítica para calcular el porcentaje de extracto etéreo por diferencia de peso:

$$\% \text{ Extracto Etéreo} = \left(\frac{W_g - W_m}{W_s} \right) \times 100$$

Donde: W_g = peso del matraz con la grasa extraída (g)

W_m = peso del matraz vacío a peso constante (g)

W_s = peso de la muestra seca analizada (g)

Determinación de Proteína Cruda

Mediante el método macro-Kjeldahl (AOAC 981.10; AOAC, 2019), se pesó muestra liofilizada y desgrasada en tubo Kjeldahl, adicionando mezcla catalizadora ($\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4$) y H_2SO_4 concentrado. La mezcla se digestó en bloque calefactor a 400°C durante 2 h hasta solución traslúcida verde esmeralda. Una vez fría, la muestra se diluyó con agua destilada, se alcalinizó con NaOH al 40 % y se destiló por arrastre de vapor para liberar NH_3 . El destilado se recolectó en H_3BO_3 al 4 % con indicador mixto y se tituló con HCl estandarizado hasta viraje a rosa tenue para calcular el nitrógeno total y porcentaje de proteína cruda:

$$\% \text{ Nitrógeno (N)} = \frac{(V_{\text{HCl}} - V_{\text{blanco}}) \times N_{\text{HCl}} \times 1.4007}{W_m}$$

$$\% \text{ Proteína Cruda} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Donde: V_{HCl} = volumen de HCl gastado en la titulación de la muestra (mL)

V_{blanco} = volumen de HCl gastado en la titulación del blanco (mL)

N_{HCl} = normalidad exacta de la solución de HCl (0.1 N)

1.4007 = miliequivalente gramo del nitrógeno $\times 100$

W_m = peso de la muestra seca analizada (g)

6.25 =

factor de conversión de nitrógeno a proteína para matrices cárnicas

Determinación de Fibra Cruda

Conforme al método AOAC 962.09 (AOAC, 2019), la fibra cruda se determinó por digestión ácida y alcalina sucesiva. Se pesó la muestra desgrasada y seca, sometiéndola a ebullición bajo reflujo con H_2SO_4 al 1.25% durante 30 min. El residuo se filtró en tela de lino, se lavó con agua caliente hasta neutralizar y se hirvió por 30 min adicionales con NaOH al 1.25%. La suspensión se filtró en un crisol Gooch con fibra de vidrio, lavándose con agua caliente, HCl al 1% y acetona. El crisol se secó en estufa a 105°C por 2 h hasta peso constante (P_1) y se calcinó en mufla a 550°C por 30 min (P_2). El porcentaje de fibra cruda se calculó por la pérdida de peso tras la incineración:

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \left(\frac{W_A - W_B}{W_m} \right) \times 100$$

Donde: W_A = peso del crisol Gooch con el residuo seco post-digestión (g)

W_B = peso del crisol con las cenizas tras la calcinación en mufla (g)

W_m = peso de la muestra seca y desgrasada analizada (g)

Análisis Estadístico y Procesamiento de Datos

Los datos experimentales de la composición bromatológica del chorizo (materia seca, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo y proteína cruda) se analizaron bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), considerando 3 bloques independientes y 3 tratamientos de inclusión de nisina, el modelo estadístico lineal aplicado para cada variable bromatológica fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento y j-ésimo bloque

μ = media general del experimento

τ_i = efecto fijo del i-ésimo tratamiento con nisina ($i = 1,2,3$)

β_j = efecto aleatorio del j-ésimo bloque ($j = 1,2,3$)

ε_{ij} = error experimental aleatorio residual $\sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

Se ejecutó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, después, se realizó la separación de medias mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

4.4.3. Determinaciones fisicoquímicas

Se realizaron mediciones del potencial de hidrógeno (pH) y de la actividad de agua (a_w), las cuales se llevaron a cabo en los días 1, 5 y 9 del periodo de

almacenamiento experimental, con el propósito de evaluar la evolución fisicoquímica y la estabilidad de la matriz cárnica a lo largo del tiempo (Tejada et al., 2021):

Potencial de Hidrógeno (pH)

La determinación del pH se realizó según la metodología oficial AOAC 981.12 (AOAC, 2019), adaptada para matrices cárnicas (Faria et al., 2024), mediante un potenciómetro portátil de penetración (Foodcare HI99161, Hanna Instruments) equipado con electrodo de punción. Previo a las mediciones, el equipo se calibró a dos puntos con soluciones amortiguadoras estándar (pH 4.01 y 7.00) y el electrodo se mantuvo hidratado en agua destilada. Para cada unidad experimental, se introdujo el electrodo directamente en tres puntos distintos de la masa del chorizo hasta obtener una lectura constante. Entre determinaciones, el electrodo se lavó con agua destilada y se secó con papel absorbente para evitar la contaminación cruzada.

Actividad de agua (a_w)

Se evaluó mediante el método del punto de rocío por espejo enfriado, conforme a la norma oficial AOAC 978.18 (AOAC, 2019) y la metodología descrita por García-Torres et al. (2021) en productos cárnicos curados. Se empleó un medidor de actividad de agua de precisión (serie Aqualab, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EEUU). Para ello, se colocó una alícuota de la muestra homogeneizada dentro de la cápsula desechable del equipo, asegurando la cobertura uniforme del fondo sin sobrepasar el límite de llenado. Las cápsulas se introdujeron inmediatamente en la cámara sellada del sensor a temperatura controlada (25 ± 0.5 °C), registrando el valor de a_w una vez alcanzado el equilibrio termodinámico de la fase de vapor (Faria et al., 2024).

Análisis Estadístico

Los datos de pH y actividad de agua (a_w) se analizaron mediante un diseño factorial 3×3 estructurado en un Diseño de Bloques Completos al Azar con Medidas Repetidas en el Tiempo. La aproximación factorial permitió evaluar los efectos principales y el efecto de interacción de dos factores independientes:

- Factor A (Concentración de nisina): tres niveles (0, 12.5 y 25.0 mg/kg).
- Factor B (Tiempo de oreado): tres periodos (días 1, 5 y 9).

El modelo estadístico lineal quedó estructurado de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta (pH o a_w)

μ = media general de la población

τ_i = efecto fijo del i -ésima concentración ($i = 1,2,3$)

β_j = efecto aleatorio del j -ésimo bloque ($j = 1,2,3$)

γ_k = efecto fijo del k -ésimo tiempo de almacenamiento ($k = 1,2,3$)

$(\tau\gamma)_{ik}$ = interacción entre el i -ésima concentración y el k -ésimo tiempo

ε_{ijk} = error experimental aleatorio residual $\sim NID(0, \sigma^2)$

El procesamiento y análisis de los datos se ejecutó con el programa estadístico RStudio (versión 2024.04.2) se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los factores principales y de la interacción con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$). En los casos donde se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), se llevó a cabo la separación y comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

4.4.4. Pruebas microbiológicas y cinética

El análisis microbiológico se realizó de forma longitudinal en los días 1, 5 y 9 de almacenamiento para monitorear la dinámica poblacional de la microbiota benéfica (BAL) y la de deterioro o indicadores higiénico-sanitarios (mesófilos aerobios y coliformes totales).

Preparación del Diluyente y disoluciones seriadas

La preparación de la solución diluyente y de las diluciones primarias y decimales subsecuentes se llevó a cabo conforme a la norma oficial NOM-110-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1995): Se formuló agua peptonada al 0.1% de peptona bacteriológica de carne/proteína (REF 211677, BD Bacto™) y 8.5 g de cloruro de sodio (NaCl) grado reactivo ACS (J.T.Baker) en 1.0 L de agua destilada, homogenizada y esterilizada en autoclave a 121 °C (1 atm) durante 15 min. Se dispensaron alícuotas de 225 mL en frascos (dilución primaria 10^{-1}) y de 9 mL en tubos de ensaye (diluciones decimales 10^{-2} a 10^{-6}), conservándose en refrigeración (4 °C) bajo condiciones asépticas. Se homogeneizaron 10 g de chorizo de cerdo en 90 mL de diluyente durante 2 min para la dilución 10^{-1} . Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas decimales hasta 10^{-6} transfiriendo alícuotas de 1 mL en 9 mL de diluyente.

Determinación de Bacterias Ácido-Lácticas (BAL)

De acuerdo con Agüero et al. (2020), para la cuantificación de bacterias ácido-lácticas (BAL), se preparó agar De Man, Rogosa y Sharpe (MRS, BD Difco™) disuelto por ebullición y esterilizado en autoclave a 121 °C por 15 min. El medio se atemperó a 45–50 °C, se vertió en cajas Petri (15–20 mL) y se almacenó en refrigeración (4 - 7 °C) en bolsas herméticas por un periodo no mayor a una semana. La inoculación se realizó por diseminación en superficie depositando una alícuota de 0.1 mL por triplicado con asa Drigalsky estéril sobre plato giratorio. Las placas se incubaron en posición invertida a 35–37 °C durante 24 h; este periodo se seleccionó para capturar la fase exponencial de crecimiento activo de las BAL adaptadas a la matriz acidificada, evitando la coalescencia de colonias en medios ricos para garantizar un recuento exacto de unidades formadoras de colonias aisladas (Nikodinoska et al., 2023).

Determinación de Bacterias Mesófilas Aerobias

De acuerdo con la metodología oficial (Secretaría de Salud, 1995), el recuento de microorganismos mesófilos aerobios se realizó según la NOM-092-SSA1-1994, empleando Agar de Conteo en Placa (PCA, BD Difco™) esterilizado en

autoclave a 121 °C durante 15 min. El medio se atemperó a 45–50 °C, se vertió en cajas Petri (15–20 mL) y se almacenó en refrigeración (4 - 7°C) tras su solidificación. La inoculación se ejecutó por diseminación en superficie depositando alícuotas de 0.1 mL (diluciones 10^{-1} a 10^{-6}) por triplicado con asa Drigalsky estéril sobre plato giratorio. Las placas se incubaron en posición invertida a 35–37 °C durante 24 h. Este periodo de 24 h se seleccionó para evitar el sobrecrecimiento de colonias invasivas o mucosas típico en embutidos cureños, permitiendo evaluar con precisión los cambios en la viabilidad poblacional inducidos por la acción bactericida de la nisina y las condiciones de oreo (Popa et al., 2022).

Determinación de Coliformes Totales

La determinación se realizó conforme a la NOM-113-SSA1-1994 y las especificaciones de la norma ISO 21528-2 (2017). Se utilizó Agar Rojo Violeta Bilis Glucosa (VRBG, BD Difco™), cuya suspensión se calentó bajo agitación constante hasta su ebullición. De acuerdo con la norma ISO 21528-2 (2017) y las indicaciones del fabricante, el medio no se sometió a esterilización en autoclave, ya que el calor excesivo degrada la glucosa y destruye sus agentes selectivos (sales biliares y cristal violeta), perdiendo su capacidad para inhibir la microbiota Gram⁺ acompañante. El agar se atemperó a 45 °C en baño de agua, se vertió en cajas Petri (15 a 20 mL por placa) y se almacenó en refrigeración (4 a 7 °C). La inoculación se realizó por la técnica de diseminación en superficie depositando una alícuota de 0.1 mL por triplicado mediante un asa Drigalsky estéril, reemplazando el método tradicional de vertido en placa. Esta modificación metodológica se implementó para evitar el choque térmico directo del agar fundido (45 °C) sobre las células coliformes subletalmente lesionadas o estresadas por la baja actividad de agua (a_w) y la acidez de la matriz del chorizo. La siembra en superficie previene la letalidad térmica inducida por el medio caliente y favorece la recuperación viable y el desarrollo colonial conspicuo en la interfaz aeróbica (FDA-BAM, 2021). Las placas se incubaron en posición invertida a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 h.

Cálculo de la Concentración Microbiana y Transformación Logarítmica

Para los recuentos de bacterias ácido-lácticas (BAL) y mesófilos aerobios, se seleccionaron las placas dentro del intervalo estadísticamente válido de 25 a 250 colonias (Secretaría de Salud, 1995). Para coliformes totales el intervalo considerado fue de 30 a 300 colonias, cuantificando aquellas de color rojo púrpura, rodeadas o no por un halo de precipitación de sales biliares producto de la fermentación de la glucosa, independientemente de su diámetro colonial para incluir células estresadas (ISO 21528-2, 2017). La densidad poblacional microbiana por gramo de muestra se calculó mediante la siguiente relación:

$$\text{UFC/g} = \frac{N}{d \times V}$$

Donde: N = número de colonias contadas en la placa

d = factor de dilución decimal de la placa contabilizada

V = volumen de inóculo depositado en la placa en mL (0.1 mL)

Esta relación matemática constituye el método estándar para determinar la concentración microbiana por gramo mediante siembra en superficie. Al multiplicar la alícuota de inoculación por el factor de dilución, se extrapola el número directo de colonias contadas (N) a la cantidad total de microorganismos viables por gramo de chorizo (UFC/g). Para estabilizar la varianza, normalizar la distribución de los datos de conteo microbiano y estandarizar la escala para los análisis de ANOVA en RStudio, los valores de UFC/g se transformaron logarítmicamente y se reportaron como $\log_{10}$ UFC/g (Barcenilla et al., 2022).

Análisis Estadístico

Para la evaluación experimental de la estabilidad microbiológica del chorizo de cerdo (bacterias ácido-lácticas, mesófilos aerobios y coliformes totales, expresados en $\log_{10}$ UFC/g), se utilizó un diseño factorial 3^2 dispuesto en un esquema de Bloques Completos al Azar (DBCA). El modelo matemático lineal que describe este diseño se expresa como:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} : Variable de respuesta microbiológica ($\log_{10}$ UFC/g) observada en la l -ésima réplica ($l = 1,2,3$), dentro del i -ésimo bloque ($i = 1,2,3$), bajo la j -ésima concentración de nisina y el k -ésimo tiempo de almacenamiento.

μ : Media general del experimento.

β_j : Efecto del j -ésimo bloque o lote independiente de producción ($j = 1,2,3$).

τ_i : Efecto principal de la j -ésima concentración de nisina ($i = 1$: Control, 2: 12.5 mg/kg, 3: 25 mg/kg).

γ_k : Efecto principal del k -ésimo tiempo de almacenamiento ($k = 1$: Día 1, 2: Día 5, 3: Día 9).

$(\alpha\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción entre la j -ésima concentración de nisina y el k -ésimo tiempo de almacenamiento.

ε_{ijkl} : Error experimental aleatorio, asumiendo que distribuye de manera normal e independiente con media cero y varianza constante, $\varepsilon_{ijkl} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

La normalidad de los residuos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene ($p > 0.05$). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para evaluar el efecto significativo ($p \leq 0.05$) de los bloques, de los factores principales (concentración de nisina y tiempo de almacenamiento) y de su interacción $(\alpha\gamma)_{jk}$ sobre cada grupo microbiano evaluado. En los casos donde el ANOVA detectó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), la comparación de medias entre tratamientos se llevó a cabo mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$). El procesamiento de datos, los análisis estadísticos y la generación de gráficos de interacción se ejecutaron en el software RStudio (versión 2024.04.2) y complementariamente en Minitab® (versión 21).

4.5. Resultados y discusión

4.5.1. Análisis bromatológico proximal

Materia Seca y Humedad

Como se muestra en el Cuadro 9, se detectaron diferencias estadísticamente significativas por efecto del tratamiento ($p = 0.00799$). El chorizo tratamiento T2 (98.38%^a) obtuvo una proporción de materia seca ligeramente mayor respecto a los chorizos T1 y T3, manteniendo un promedio general de $98.21 \pm 0.22\%$.

Cuadro 9. Composición proximal (% base seca) del chorizo de cerdo adicionado con nisina al día 5 de oreado.

Tratamiento	Materia Seca	Cenizas Totales	Fibra Cruda	Extracto Etéreo	Proteína Cruda
T1 (Control - 0 mg/kg)	98.12 $\pm 0.24^b$	7.57 $\pm 0.27^b$	12.97 $\pm 1.55^a$	24.53 $\pm 1.49^b$	38.12 $\pm 1.81^a$
T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	98.38 $\pm 0.18^a$	7.66 $\pm 0.16^{ab}$	16.03 $\pm 4.71^a$	27.06 $\pm 1.30^a$	36.72 $\pm 4.26^a$
T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	98.14 $\pm 0.14^b$	7.90 $\pm 0.34^a$	15.45 $\pm 2.47^a$	25.48 $\pm 1.12^b$	39.82 $\pm 3.46^a$
Promedio General ($\bar{X} \pm SD$)	98.21 ± 0.22	7.71 ± 0.30	14.82 ± 3.48	25.69 ± 1.66	38.22 ± 3.44
Valor de p	0.00799	0.01570	0.10300	0.00022	0.18500
Coeficiente R^2	0.4443	0.4855	0.2956	0.6380	0.1582

Nota: Todos los valores están expresados en porcentaje (%). Valores expresados como la Media $\pm$ Desviación Estándar ($n = 9$). Letras distintas (^{a, b}) dentro de una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

A pesar de esta diferencia estadística, la magnitud numérica es mínima ($< 0.26\%$), confirmando que la incorporación del bioconservador no altera significativamente la capacidad de retención de agua ni la dinámica de deshidratación en la maduración cárnica. Este resultado concuerda con lo

observado por Alirezalu et al. (2019) quienes reportaron que la adición de nisina en productos cárnicos no modifica significativamente el contenido de humedad ni interfiere con los parámetros cinéticos de secado durante su almacenamiento.

Cenizas Totales

La fracción inorgánica presentó variación significativa ($p = 0.01570$), destacando el chorizo T3 por encima del control T1 con T2. Este incremento leve en T3 se asocia a la concentración mineral aportada por las sales carrier de la preparación comercial de nisina (RAFF®) a la dosis más alta (25.0 mg/kg). Este comportamiento se debe a que las formulaciones comerciales de bioconservadores contienen un alto porcentaje de portadores minerales (principalmente cloruro de sodio y sólidos lácteos), lo cual genera un ligero incremento proporcional en la masa inorgánica libre de carbón al aumentar la dosis (Anumudu et al., 2021).

Fibra Cruda

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.10300$), registrándose un promedio global de $14.82 \pm 3.36\%$. La elevada desviación estándar observada en T2 (± 4.71) refleja la heterogeneidad propia en la distribución de partículas de chile guajillo y ajo en la masa cárnica. La fibra cruda en chorizos tradicionales proviene casi exclusivamente de los condimentos botánicos y especias adicionadas; por ello, en elaboraciones a esta escala con mezclado manual, es habitual encontrar dispersión en alícuotas pequeñas sin que esto implique un efecto del agente conservador (Panea & Ripoll, 2021).

Extracto Etéreo (Grasa Cruda)

El contenido de lípidos mostró diferencias altamente significativas ($p = 0.00022$). El tratamiento T2 difirió de T1 y T3. Al mantenerse constante la formulación base carne: grasa, esta variación responde a la distribución física irregular del tejido adiposo (lardo) en el proceso de picado y molienda, además de que el mezclado se hizo de manera manual. De acuerdo con (Popa et al., 2022) las bacteriocinas como la nisina no poseen actividad lipolítica ni interactúan químicamente con los triacilglicerolos; por lo tanto, las fluctuaciones en el extracto etéreo se atribuyen

al sesgo del muestreo inherente a matrices cárnicas que fueron molidas de manera no industrializada.

Proteína Cruda

El contenido proteico ($38.22 \pm 3.46\%$ general) no fue afectado por los tratamientos ($p = 0.18500$). Esto confirma que la nisina preserva íntegramente las estructuras proteicas provenientes de la magra de cerdo sin causar proteólisis o mermas en su valor nutrimental. Esto concuerda con Yaghoubi et al. (2024), quienes concluyeron que la nisina actúa con especificidad sobre las membranas bacterianas sin ejercer acción catalítica ni alterar la fracción proteica de embutidos curados y madurados.

4.5.2. Determinaciones fisicoquímicas

Actividad de agua (a_w)

Cuadro 10. Actividad de agua (a_w) a través del tiempo de oreado

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
T1 (Control)	0.9533 ± 0.0208^a	0.9108 ± 0.0388^b	0.8699 ± 0.0528^a
T2 (Nisina 12.5)	0.9499 ± 0.0192^a	0.9376 ± 0.0240^a	0.8842 ± 0.0415^a
T3 (Nisina 25.0)	0.9508 ± 0.0191^a	0.9357 ± 0.0230^a	0.8920 ± 0.0249^a
<i>p-valor</i>	<i>0.2360</i>	<i>0.0001</i>	<i>0.1290</i>

Nota: Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c) en la misma columna y dentro de la misma variable indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Como se observa en el Cuadro 10, existe un descenso progresivo de la a_w en todos los tratamientos desde los valores iniciales del día 1 hasta el día 9, debido a la deshidratación paulatina del producto. En los días 1 y 9 no existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, en el día 5 se detectó un efecto significativo ($p = 0.0001$), donde el grupo control descendió rápidamente en comparación con los tratamientos con nisina. El análisis factorial confirma que el tiempo de oreado y el bloque explican la mayor variabilidad ($p <$

0.001), sin registrarse una interacción estadísticamente significativa ($p > 0.05$). La disminución de la a_w a lo largo del periodo de evaluación responde al proceso físico de transferencia de masa y pérdida de humedad por evaporación hacia el ambiente, fenómeno característico en el curado y oreado de productos cárnicos crudo-curados. El hecho de que al final del periodo (día 9) la adición de nisina no mostrara diferencias significativas respecto al control ($p = 0.1290$) confirma que este péptido antimicrobiano no actúa como agente osmótico u humectante directo, por lo que no altera la osmolalidad ni la capacidad de retención de agua en la matriz cárnica a largo plazo. La ligera diferencia puntual en el día 5 sugiere una retención temporal de humedad condicionada por modificaciones microbianas iniciales, la cual se homogeniza hacia la etapa final del secado (Fell et al., 2024).

Potencial de Hidrógeno (pH)

En el Cuadro 11 se muestra una cinética de acidificación altamente significativa. Mientras que en el día 1 no se registraron diferencias entre tratamientos ($p = 0.0965$), para los días 5 y 9 la adición de nisina promovió un descenso de pH significativo ($p < 0.0001$).

Cuadro 11. Potencial de hidrógeno (pH) a través del tiempo de oreado

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
T1 (Control)	5.4200 $\pm$ 0.0274 ^a	5.2500 $\pm$ 0.0274 ^a	5.1200 $\pm$ 0.0274 ^a
T2 (Nisina 12.5)	5.4044 $\pm$ 0.0230 ^a	5.1800 $\pm$ 0.0274 ^b	5.0300 $\pm$ 0.0274 ^b
T3 (Nisina 25.0)	5.3933 $\pm$ 0.0235 ^a	5.1200 $\pm$ 0.0274 ^c	4.9600 $\pm$ 0.0274 ^c
<i>p-valor</i>	0.0965	2.11exp-09	4.64exp-11

Nota: Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c) en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Al Día 9, el tratamiento con la dosis más alta (Nisina 25.0) alcanzó el pH más bajo, seguido de Nisina 12.5 y el Control, ubicándose todos en grupos Tukey independientes (a, b, c). El modelo factorial presentó un ajuste sobresaliente con

una interacción entre la concentración y el tiempo altamente significativa ($p < 0.0001$), lo que demuestra que la presencia de nisina acelera e intensifica el proceso de acidificación con el paso de los días. La acentuada disminución del pH observada en las formulaciones tratadas con nisina durante el oreado se explica por la modulación selectiva sobre la microbiota y la bioestabilidad del producto en ambiente subácido, inhibiendo bacterias alterantes y permitiendo una cinética de acidificación eficiente en la matriz cárnica (Fell et al., 2024).

4.5.3. Pruebas microbiológicas

El análisis factorial 3^2 dispuesto en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) demostró una alta precisión experimental, alcanzando coeficientes de determinación (R^2) de 0.9804 para BAL, 0.9893 para Mesófilos y 0.9965 para Coliformes Totales.

Determinación de Bacterias Ácido-Lácticas (BAL)

Se detectaron efectos principales altamente significativos para el Tiempo ($p < 0.0001$) y la Concentración de nisina ($p < 0.0001$), así como para la interacción entre el tiempo y la concentración ($p < 0.0001$). Como se observa en la Figura 7, la cinética mostró un comportamiento exponencial característico de la fermentación cárnica, donde las BAL alcanzaron su densidad celular máxima al Día 5 en todos los tratamientos. Como se observa en el Cuadro 12, durante la etapa inicial (Día 1 a 5), la abundancia de sustratos fermentables (carbohidratos solubles) y la actividad de agua (a_w) favorecieron la fase logarítmica de crecimiento de las BAL, comportamiento característico en las primeras etapas de acidificación y maduración de embutidos (Faria et al., 2024). Sin embargo, en el Día 5, la inclusión de nisina moduló significativamente la carga bacteriana: el tratamiento T3 ($7.99 \pm 0.03 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$) redujo en 0.20 Log la biomasa con respecto al Control ($8.19 \pm 0.01 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$; $p < 0.05$). Esta inhibición moderada se atribuye al mecanismo de acción de la nisina, la cual se une al lípido II de la pared celular bacteriana formando poros permeables en la membrana plasmática (Gharsallaoui et al., 2016). Si bien las BAL (bacterias Gram⁺) son la fuente natural de esta bacteriocina, concentraciones exógenas elevadas pueden

ejercer un efecto auto-inhibitorio transitorio sobre cepas de menor tolerancia metabólica (Shin et al., 2016).

Cuadro 12. Evaluación microbiológica de Bacterias ácido-lácticas (Log_{10} UFC/g) durante el tiempo de oreado

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
T1 (Control)	6.93 ± 0.07^e	8.13 ± 0.05^a	7.80 ± 0.15^c
T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	6.86 ± 0.06^e	8.04 ± 0.04^{ab}	7.84 ± 0.07^c
T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.65 ± 0.09^f	7.96 ± 0.07^b	7.38 ± 0.14^d
<i>p</i> -valor	0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Nota: Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c, d, e, f) en la interacción general dentro de cada variable indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

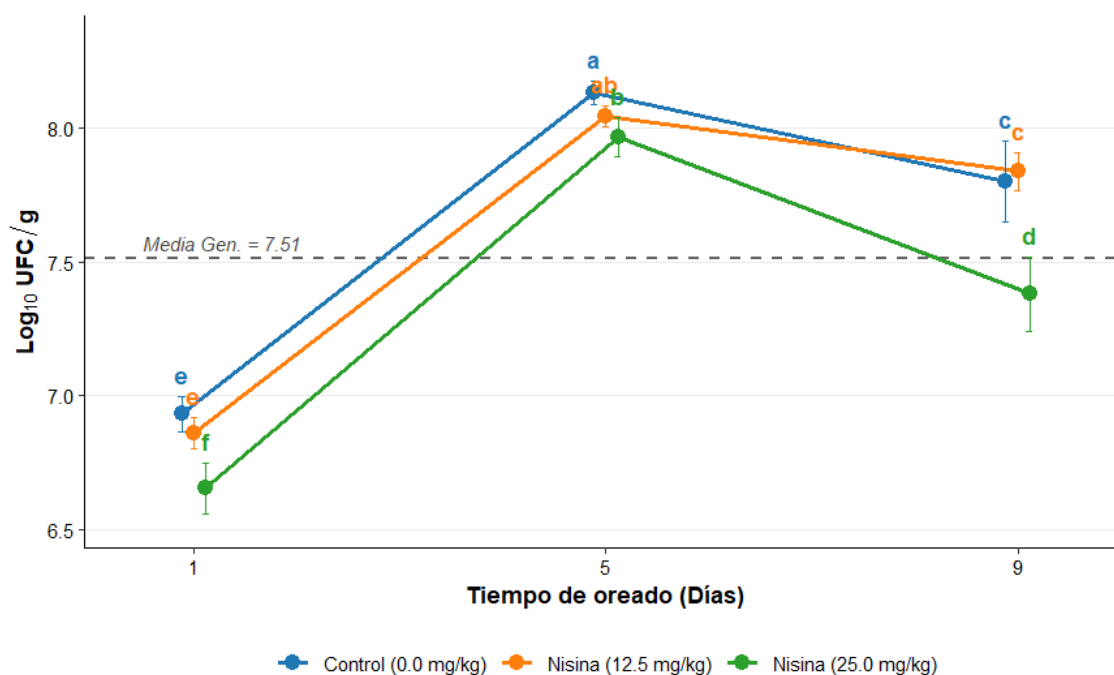


Figura 7. Cinética microbiana: Bacterias ácido-lácticas (BAL)

Hacia el Día 9, la población de BAL entró en fase de declive, caracterizada por una reducción en la viabilidad celular. Este fenómeno se explica por la disminución acelerada del pH (consecuencia de la acumulación de ácido láctico), el agotamiento de glucosa y la pérdida de a_w por la deshidratación del oreado. En esta fase final, T3 mantuvo la menor carga residual ($7.42 \pm 0.16 \text{ Log}_{10}$ UFC/g) respecto a T1 y T2 (7.73 ± 0.06 y $7.83 \pm 0.06 \text{ Log}_{10}$ UFC/g, respectivamente).

Desde la perspectiva de tecnología de carnes, esta modulación es altamente deseable: demuestra que la nisina a 25.0 mg/kg ejerce un control preventivo sobre el sobrecrecimiento microbiano sin erradicar la microflora láctica nativa. Esto asegura la producción de ácidos orgánicos necesarios para la acidificación, firmeza y color característico del embutido, evitando al mismo tiempo defectos organolépticos por sobre-acidificación o fermentaciones descontroladas (Lou et al., 2025).

Determinación de Bacterias Mesófilas Aerobias

Para la concentración de Bacterias Mesófilas Aerobias se detectaron efectos principales altamente significativos para el Tiempo ($p < 0.0001$) y la Concentración de nisina ($p < 0.0001$) (Cuadro 13). La interacción entre el tiempo y la concentración no resultó estadísticamente significativa ($p = 0.5283$), lo cual indica que la adición de nisina redujo la carga mesófila de manera paralela y constante a lo largo de todas las etapas del oreado, sin alterar el patrón cinético general del producto (Figura 8).

Durante la etapa inicial de maduración, la población mesófila experimentó un incremento exponencial en todos los tratamientos, alcanzando su pico máximo al Día 5. Este comportamiento es característico en embutidos porcinos crudos y curados, donde la temperatura inicial de oreado y la elevada actividad de agua (a_w) favorecen la proliferación transitoria de la microflora heterogénea nativa (Faria et al., 2024). Sin embargo, en esta cúspide cinéticamente crítica (Día 5), el tratamiento T3 (25.0 mg/kg) logró restringir significativamente la carga celular a $8.32 \pm 0.12 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$ (grupo Tukey b) frente a los $8.55 \pm 0.13 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$ registrados en el Control T1 (grupo Tukey a; $p < 0.05$). Esta contención se atribuye al efecto bactericida del aditivo sobre bacterias Gram-positivas alterantes del grupo mesófilo (tales como *Micrococcus*, *Staphylococcus* y especies esporuladas), cuyo mecanismo involucra la desestabilización del gradiente electroquímico celular mediante la permeabilización de membrana dependiente de Lípido II (Santos et al., 2018).

Cuadro 13. Evaluación microbiológica de Bacterias mesófilas aerobias (Log_{10} UFC/g) durante el tiempo de oreado

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
T1 (Control)	7.25 ± 0.04^e	8.54 ± 0.14^a	8.20 ± 0.09^c
T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	7.16 ± 0.06^e	8.46 ± 0.15^a	8.11 ± 0.10^c
T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.93 ± 0.03^f	8.31 ± 0.11^b	7.91 ± 0.09^d
<i>p</i> -valor	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Nota: Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c, d, e, f) en la interacción general dentro de cada variable indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

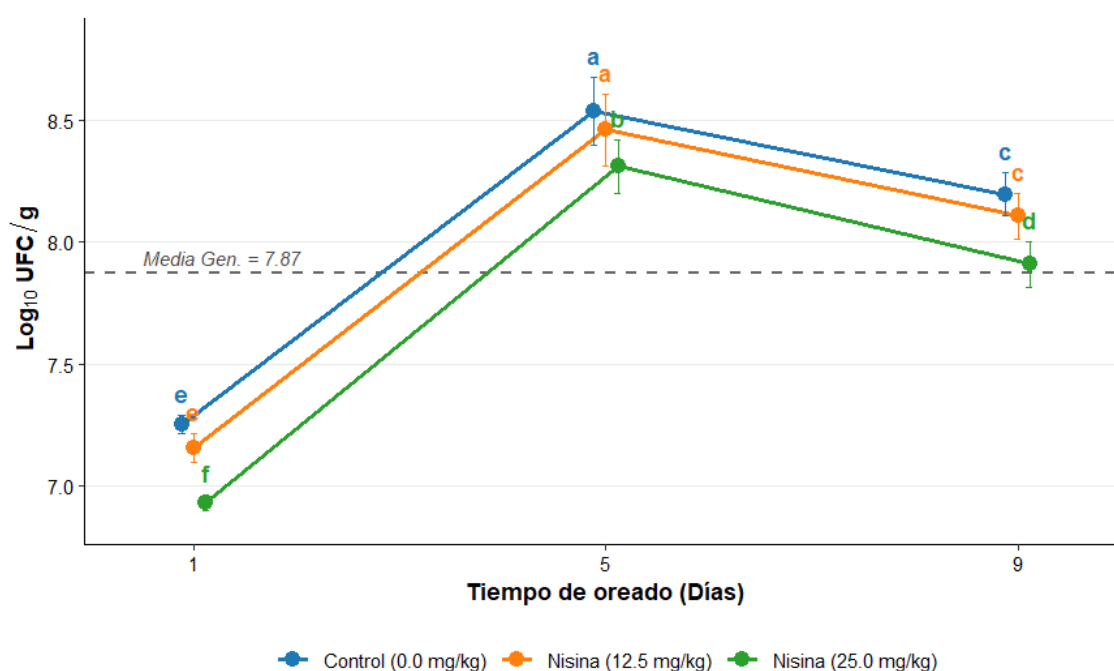


Figura 8. Cinética microbiana: Bacterias mesófilas aerobias

En términos generales, limitar el sobrecrecimiento de mesófilos aerobios mediante la inclusión de 25.0 mg/kg de nisina garantiza la vida útil microbiológica del embutido, previniendo la degradación enzimática prematura de lípidos y proteínas que causa olores extraños, viscosidad superficial y pérdida de calidad sensorial en chorizos artesanales (Munekata et al., 2020).

Determinación de Coliformes Totales

Para la concentración de Coliformes Totales se detectaron efectos principales altamente significativos para el Tiempo ($p < 0.0001$) y la Concentración de nisina ($p < 0.0001$), así como una interacción entre el tiempo y la concentración estadísticamente significativa ($p < 0.0001$) (Cuadro 14). Esta interacción evidencia que la tasa de inactivación de enterobacterias dependió directamente de la dosis de bacteriocina aplicada a lo largo del proceso de oreado (Figura 9).

Aunque la membrana externa rica en lipopolisacáridos (LPS) de las bacterias Gram⁻ actúa como una barrera natural de permeabilidad frente a péptidos hidrofóbicos como la nisina, la rápida acidificación provocada por el ácido láctico de las BAL perturba la red de puentes iónicos de Mg^{2+} y Ca^{2+} en la membrana externa. Esta alteración estructural sensibiliza a las coliformes, permitiendo el acceso de la nisina a la membrana citoplasmática para despolarizarla y acelerar la muerte celular (Santos et al., 2018).

Desde una perspectiva de inocuidad alimentaria y normatividad, la acción combinada de la desecación (a_w), el descenso de pH y la bioactividad de la nisina a 25.0 mg/kg fortalece las barreras microbiológicas del embutido, asegurando la eliminación eficiente de indicadores de contaminación fecal o deficiencias higiénicas y garantizando el cumplimiento de los estándares de higiene en productos cárnicos curados (Secretaría de Salud, 2019; (Lou et al., 2025).

Cuadro 14. Evaluación microbiológica de coliformes totales (Log_{10} UFC/g) durante el oreo

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
T1 (Control)	6.14 ± 0.06^a	4.21 ± 0.03^b	3.68 ± 0.10^d
T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	6.10 ± 0.05^a	4.16 ± 0.07^b	3.42 ± 0.12^e
T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.03 ± 0.04^a	3.91 ± 0.05^c	3.11 ± 0.10^f
<i>p</i> -valor	0.0965	< 0.0001	< 0.0001

Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c, d, e, f) en la interacción general dentro de cada variable indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

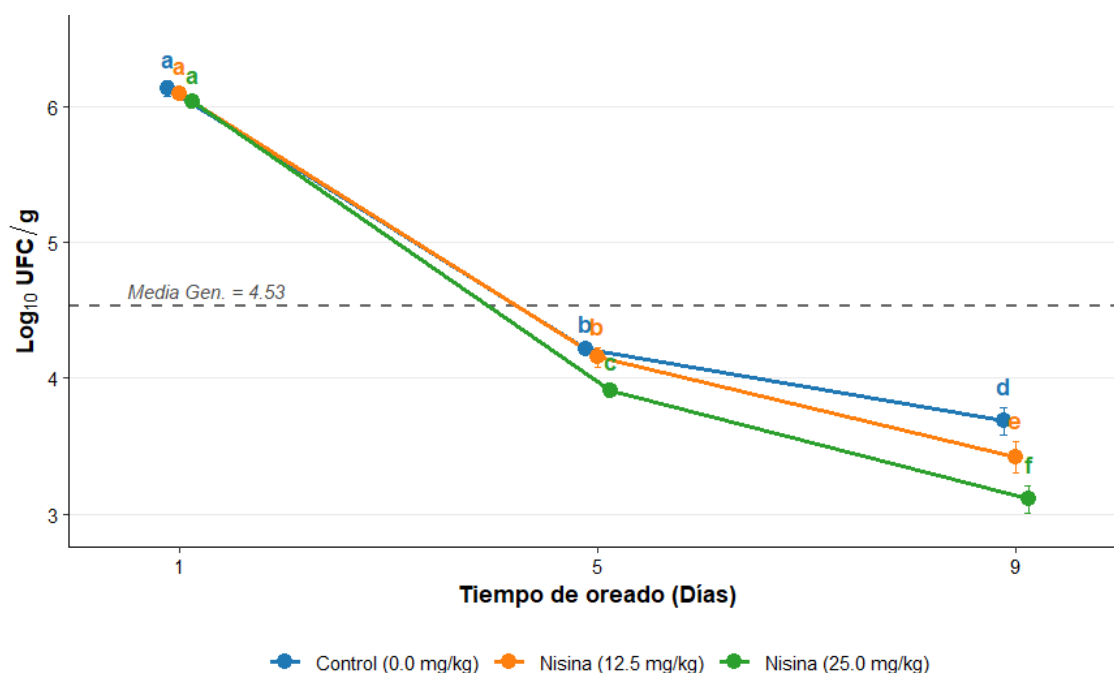


Figura 9. Cinética microbiana: Bacterias coliformes totales

4.6. Conclusiones

La adición de nisina en una concentración de 25.0 mg/kg ejerció un control microbiológico eficiente sobre la matriz del chorizo mexicano. Su mecanismo de acción redujo de manera sostenida las poblaciones de microorganismos deterioradores y coliformes totales durante los 9 días de oreado, mitigando el riesgo de sobre-acidificación sin eliminar la microbiota láctica benéfica necesaria para la maduración, lo que valida su función como un biopreservante eficaz.

La incorporación de nisina (12.5 y 25 mg/kg) no alteró la composición bromatológica proximal (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra y cenizas) al Día 5 de maduración. Asimismo, el bioconservador reguló la cinética de acidificación al desacelerar el descenso abrupto del pH, manteniendo la estabilidad de la actividad de agua (a_w) y preservando la integridad del sistema emulsificado cárnico.

La nisina se posiciona como una alternativa prometedora para la sustitución de nitratos y nitritos sintéticos. Históricamente, la eliminación de las sales de cura ha representado un desafío complejo debido a su triple papel tecnológico: fijación del color, acción antioxidante y control antimicrobiano, particularmente contra

Clostridium botulinum. La nisina aborda una de las principales restricciones de las alternativas convencionales al aportar una potente actividad bactericida sin generar metabolitos tóxicos.

En matrices complejas como el chorizo mexicano, se muestra una sinergia donde la nisina asumiría la principal barrera microbiológica, mientras que los carotenoides y compuestos fenólicos de las especias tradicionales aportarían la estabilidad del color y la protección antioxidante. No obstante, si bien esta complementariedad sugiere la posibilidad de prescindir de las sales de cura sin comprometer la vida útil del embutido, se requieren estudios adicionales de inocuidad y desafío microbiano para corroborar de manera concluyente su seguridad sanitaria a escala industrial.

4.7. Literatura citada

- Agüero, N. de L., Frizzo, L. S., Ouwehand, A. C., Aleu, G., & Rosmini, M. R. (2020). *Technological characterisation of probiotic lactic acid bacteria as starter cultures for dry fermented sausages*. <https://doi.org/10.3390/foods9050596>
- Alirezalu, K., Hesari, J., Nemati, Z., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., & Lorenzo, J. M. (2019). Combined effect of natural antioxidants and antimicrobial compounds during refrigerated storage of nitrite-free frankfurter-type sausage. *Food Research International*, 120, 839–850. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.048>
- Anumudu, C., Hart, A., Miri, T., & Onyeaka, H. (2021). Recent Advances in the Application of the Antimicrobial Peptide Nisin in the Inactivation of Spore-Forming Bacteria in Foods. *Molecules*, 26(18), 5552. <https://doi.org/10.3390/molecules26185552>
- Bahrami, S., Andishmand, H., Pilevar, Z., Hashempour-baltork, F., Torbati, M., Dadgarnejad, M., Rastegar, H., Mohammadi, S. A., & Azadmard-Damirchi, S. (2024). Innovative perspectives on bacteriocins: Advances in classification, synthesis, mode of action, and food industry applications. *Journal of Applied Microbiology*, 135(11), 1xae274. <https://doi.org/10.1093/jambio/1xae274>
- Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022). Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, 183, 108661. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>
- Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coter, D., Quintero-Salazar, B., Becerril Sánchez, A. L., Dublán García, O., Domínguez-López, A., Arizmendi Coter, D., & Quintero-Salazar, B. (2019). La calidad sanitaria del chorizo rojo tradicional que se comercializa en la ciudad de Toluca, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(1), 172–185. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4344>
- Codex Alimentarius. (1995). Norma general para los aditivos alimentarios (CXS 192-1995). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Organización Mundial de la Salud. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/gsfa/es/>

- Faria, A. S., Bonilla-Luque, O. M., Carvalho, L., Fernandes, N., Prieto, M. A., Cadavez, V., & Gonzales-Barron, U. (2024). Microbiological and Physicochemical Profile of Traditionally Produced Chouriça de Carne Dry-Fermented Sausages: Towards Benchmarking of Products Against Established Quality Groups. *Foods*, 13(22), 3705. <https://doi.org/10.3390/foods13223705>
- Fell, E. L., Brum, L. M., Nicoletti, E., Sartoreto, L., Hoelscher, H., Colet, R., Steffens, J., Zeni, J., Valduga, E., Cansian, R. L., Backes, G. T., & Steffens, C. (2024). Nisin or organic acid salt mixtures for the Calabrese-type sausages in industrial-scale production. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1981-6723.06123>
- Gharsallaoui, A., Oulahal, N., Joly, C., & Degraeve, P. (2016). Nisin as a Food Preservative: Part 1: Physicochemical Properties, Antimicrobial Activity, and Main Uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8), 1262–1274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
- Hernández-Lozada, G., Pérez-Flores, J. G., García-Curiel, L., González-Olivares, L. G., Contreras-López, E., Escobar-Ramírez, M. C., & Pérez-Escalante, E. (2025). Application of bacteriocins in food preservation and safety: A bibliometric analysis approach. *Food Science Today*, 4(1), 12–22. <https://doi.org/10.58951/fstoday.2025.003>
- International Organization for Standardization. (2017). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae — Part 2: Colony-count technique (ISO Standard No. 21528-2:2017). <https://www.iso.org/standard/63023.html>
- Kim, M., Bae, S. M., Yoo, Y., Park, J., & Jeong, J. Y. (2025). Clean-Label Strategies for the Replacement of Nitrite, Ascorbate, and Phosphate in Meat Products: A Review. *Foods*, 14(14), 2442. <https://doi.org/10.3390/foods14142442>
- Lou, A., Jin, X., Dong, Z., Wei, Y., Wu, Y., Xiao, F., Quan, W., Liu, Y., Shen, Q., Luo, J., & Zhou, L. (2025). Effects of fermentation on the quality, flavor, and bacterial community changes of Longtian Zharou—a traditional Chinese fermented meat product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 106, 104297. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104297>
- Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *Current Opinion in Food Science, Food Chemistry and Biochemistry • Food Bioprocessing*, 31, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.003>
- Nikodinoska, I., Tabanelli, G., Baffoni, L., Gardini, F., Gaggia, F., Barbieri, F., & Gioia, D. D. (2023). Characterization of Lactic Acid Bacteria Isolated from Spontaneously Fermented Sausages: Bioprotective, Technological and Functional Properties. *Foods*, 12(4), 727. <https://doi.org/10.3390/foods12040727>
- AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Ovando-Flores, H., & Thomé-Ortiz, H. (2021). Quality Seal for Artisanal Chorizo in Valle de Toluca: Keys to Obtaining a Collective Brand. *Agro Productividad*, 14(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1917>
- Panea, B., & Ripoll, G. (2021). Substituting fat with soy in low-salt dry fermented sausages. *NFS Journal*, 22, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.12.003>
- Popa, E. E., Miteluț, A. C., Râpă, M., Popescu, P. A., Drăghici, M. C., Geicu-Cristea, M., & Popa, M. E. (2022). Antimicrobial Active Packaging Containing Nisin for Preservation of Products of Animal Origin: An Overview. *Foods*, 11(23), 3820. <https://doi.org/10.3390/foods11233820>

- Santos, J. C. P., Sousa, R. C. S., Otoni, C. G., Moraes, A. R. F., Souza, V. G. L., Medeiros, E. A. A., Espitia, P. J. P., Pires, A. C. S., Coimbra, J. S. R., & Soares, N. F. F. (2018). Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action, and application in active food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.008>
- Secretaría de Salud. (1995, 25 de agosto). Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes en placa. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4847926&fecha=25/08/1995
- Secretaría de Salud. (1995, 12 de diciembre). Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Salud. (1995, 16 de octubre). Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4862410&fecha=12/12/1995
- Secretaría de Salud. (2019, 3 de abril). Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/04/2019
- Shin, J. M., Gwak, J. W., Kamarajan, P., Fenno, J. C., Rickard, A. H., & Kapila, Y. L. (2016). Biomedical applications of nisin. *Journal of Applied Microbiology*, 120(6), 1449–1465. <https://doi.org/10.1111/jam.13033>
- Tejada, L., Buendía-Moreno, L., Álvarez, E., Palma, A., Salazar, E., Muñoz, B., & Abellán, A. (2021). Development of an Iberian Chorizo Salted With a Combination of Mineral Salts (Seawater Substitute) and Better Nutritional Profile. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.642726>
- U.S. Food and Drug Administration. (2021). Bacteriological Analytical Manual (BAM) (8th ed., Chapter 3: Aerobic Plate Count). U.S. FDA. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>
- Yaghoubi, M., Alirezalu, K., Nottagh, S., Naghizadeh, S. H., Moslemi, S. A. S., Olyayee, M., Dizajyekan, M. M., & Fathi-Achachlouei, B. (2024). Enhancement of sausages shelf life using natural antimicrobials and propolis extract. *Food Science and Biotechnology*, 34(1), 287–298. <https://doi.org/10.1007/s10068-024-01632-x>
- Yu, H. H., Chin, Y.-W., & Paik, H.-D. (2021). Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review. *Foods*, 10(10), 2418. <https://doi.org/10.3390/foods10102418>

5. EVALUACIÓN SENSORIAL Y AFECTIVA DE CHORIZO MEXICANO CON BIOCONSERVADOR NISINA

5.1. Resumen

Presente estudio evaluó el impacto de la incorporación de nisina (25.0 mg/kg) sobre el perfil sensorial afectivo de un chorizo de cerdo al quinto día de oreado etapa clave de equilibrio fermentativo, mediante un panel no entrenado de 100 consumidores. Se comparó el Tratamiento Control (T1: 0 mg/kg) frente a la formulación con mayor bioconservación (T3: 25.0 mg/kg), aplicando escalas hedónicas de 9 puntos, escala Just-About-Right (JAR) de 5 puntos y Análisis de Penalización.

El Análisis de Varianza (ANOVA, DBCA) determinó la ausencia de diferencias significativas ($p = 0.172$) en la Aceptabilidad Global entre T1 (6.80 ± 1.52) y T3 (7.02 ± 1.33), situando al tratamiento bioconservado en la categoría "Me gusta moderadamente". La nisina actuó de manera sensorialmente neutra y moduló la cinética poblacional de las bacterias ácido-lácticas (BAL), atenuando la velocidad de acidificación ($\text{pH } 4.96 \pm 0.02$) sin alterar la fermentación. Esto promovió un 74% de satisfacción JAR en el Nivel de acidez, corrigiendo la penalización por acidez insuficiente detectada en el control ($p = 0.004$).

Las dimensiones de Aroma y Sabor a especias mantuvieron una alta adecuación JAR ($> 56\%$), demostrando que el lantibiótico no genera resabios ni enmascara el buqué tradicional de condimentos. Aunque el Penalty Analysis identificó oportunidades de mejora en Color naranja (20% de frecuencia por intensidad insuficiente; $p = 0.011$) y Sensación grasosa (16%; $p = 0.004$), ambos mantuvieron proporciones ideales JAR superiores al 68%.

La adición de nisina constituye una estrategia *Clean-Label* tecnológicamente viable que maximiza la inocuidad microbiológica al contener coliformes y mesófilos aerobios garantizando la fidelidad organoléptica exigida por el consumidor.

Palabras clave: Bacteriocinas, Embutidos madurados, Análisis de penalidades, aceptabilidad global

Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Martín Jauregui Fuentes

Director de tesis: Dr. Emmanuel Flores Girón

SENSORY AND AFFECTIVE EVALUATION OF MEXICAN CHORIZO WITH NISIN BIOPRESERVATIVE

5.2. Abstract

The present study evaluated the impact of nisin incorporation on the affective sensory profile of a pork chorizo on the fifth day of curing, a key stage of fermentative equilibrium, using an untrained panel of 100 consumers. The Control Treatment (T1) was compared against the formulation with the highest biopreservation (T3), applying 9-point hedonic scales, a 5-point Just-About-Right (JAR) scale, and Penalty Analysis.

Analysis of Variance (ANOVA, RCBD) revealed no significant differences in Overall Acceptability between T1 and T3, placing the biopreserved treatment in the "Like moderately" category. Nisin acted in a sensorially neutral manner and modulated the population kinetics of lactic acid bacteria (LAB), attenuating the rate of acidification without altering fermentation. This promoted high JAR satisfaction for Acidiness level, correcting the penalty for insufficient acidity observed in the control.

The Spice Aroma and Spice Flavor dimensions maintained high JAR adequacy, demonstrating that the lantibiotic does not generate off-flavors or mask the traditional spice bouquet. Although Penalty Analysis identified areas for improvement in Orange color (frequency due to insufficient intensity) and Greasy sensation, both maintained ideal JAR proportions.

The addition of nisin constitutes a technologically viable Clean-Label strategy that maximizes microbiological safety by containing coliforms and aerobic mesophiles, while guaranteeing the organoleptic fidelity demanded by the consumer.

Keywords: Bacteriocins, Cured sausages, Penalty analysis, Overall acceptability

Master's Thesis in Science. Program of Agro-Food Science and Technology,
Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Martín Jauregui Fuentes
Advisor: Dr. Emmanuel Flores Girón

5.3. Introducción

En la industria cárnica actual, la búsqueda de alternativas tecnológicas que garanticen la inocuidad alimentaria sin alterar las características sensoriales tradicionales constituye un desafío prioritario (Yu et al., 2021). Los embutidos cárnicos crudos-curados y fermentados, como el chorizo de cerdo tradicional, son productos altamente apreciados por el consumidor, pero vulnerables al deterioro microbiológico y a la proliferación de microorganismos patógenos y alterantes durante las etapas de maduración y oreo (Redondo-Solano et al., 2023).

Ante esta problemática, la bioconservación mediante el uso de bacteriocinas específicamente la nisina, un péptido antimicrobiano producido por *Lactococcus lactis* ha cobrado una relevancia científica debido a su capacidad para inhibir bacterias Gram⁺, así como por su estatus GRAS (Generally Recognized as Safe) reconocido a nivel internacional (Santos et al., 2018). El éxito de la incorporación de un bioconservador en una matriz cárnica no depende únicamente de su eficacia antimicrobiana, sino también de su interacción con la dinámica fermentativa local y la preservación de la aceptabilidad sensorial (Barcenilla et al., 2022). Durante el periodo de oreo, las bacterias ácido-lácticas (BAL) metabolizan los carbohidratos presentes, generando un descenso del pH necesario para la estabilidad microbiológica y la textura característica del producto. No obstante, un control adecuado sobre la tasa de acidificación resulta crítico, dado que caídas desproporcionadas en el pH pueden generar notas agrias o enmascarar los perfiles aromáticos de las especias (Agüero et al., 2020).

A partir de la caracterización microbiológica realizada durante un periodo de 9 días de oreo, se determinaron los perfiles cinéticos de microorganismos indicadores. Con base en estos datos previa a la fase afectiva, la evaluación sensorial se diseñó comparando de manera contrastante el Tratamiento Control (T1: 0 mg/kg de nisina) y el Tratamiento T3 (Nisina 25.0 mg/kg).

Es por ello que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la adición de nisina a 25.0 mg/kg sobre la aceptabilidad general y el perfil de adecuación ideal (JAR) en un chorizo de cerdo al quinto día de oreo etapa

óptima de equilibrio sensorial (Barcenilla et al., 2022), mediante un panel afectivo no entrenado ($n = 100$), integrando herramientas analíticas como el Análisis de Penalización (Penalty Analysis) conforme a los estándares internacionales de análisis sensorial (ISO 4121:2003; ISO 11035:2021).

5.4. Materiales y métodos

Con base en la dinámica microbiológica (Cuadro 15) registrada durante el oreo, la evaluación sensorial se llevó a cabo comparando el Tratamiento Control (T1: 0 mg/kg de nisina) y el Tratamiento T3 (25.0 mg/kg de nisina).

La exclusión del tratamiento intermedio (T2: 12.5 mg/kg) se justifica técnicamente debido a que T3 demostró la máxima eficacia de bioconservación, logrando la mayor inhibición de microorganismos coliformes ($3.11 \pm 0.10 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$) y la mayor contención de mesófilos aerobios ($8.31 \pm 0.11 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$) hacia el final del periodo de secado ($p < 0.0001$). Asimismo, T3 ejerció la modulación más acentuada sobre la cinética de acidificación ($\text{pH } 4.96 \pm 0.02$), un parámetro determinante en el desarrollo del perfil organoléptico de embutidos fermentados.

Dado que el tratamiento T2 mostró comportamientos intermedios homogéneos con el control en variables clave como la densidad de BAL al día 5 ($p > 0.05$), la comparación directa entre T1 y T3 permitió contrastar la matriz sin aditivo frente al escenario de mayor bioactividad antimicrobiana, optimizando la capacidad discriminadora del panel sensorial y evitando la fatiga de los jueces.

Previo a la aplicación de las evaluaciones afectivas con consumidores, se llevó a cabo una sesión de generación y selección de descriptores sensoriales con un panel preliminar conformado por 15 personas. En esta fase inicial, los evaluadores analizaron muestras del producto para consensuar el léxico sensorial característico del chorizo de cerdo. A partir de esta exploración inicial y considerando los atributos de mayor interés tecnológico para los objetivos de la investigación, se definieron cinco atributos clave para ser evaluados en el estudio: Color naranja, Aroma a especias, Nivel de acidez, Sabor a especias y Sensación grasosa (ISO 11035, 2021; Ruiz-Capillas et al., 2021).

Cuadro 15. Evaluación microbiológica de microorganismos indicadores ($\log_{10}$ UFC/g) durante el tiempo de oreado

Indicadores	Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 9
Bacterias ácido-lácticas (BAL)	T1 (Control)	6.93 ± 0.07^e	8.13 ± 0.05^a	7.80 ± 0.15^c
	T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	6.86 ± 0.06^e	8.04 ± 0.04^{ab}	7.84 ± 0.07^c
	T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.65 ± 0.09^f	7.96 ± 0.07^b	7.38 ± 0.14^d
	<i>p</i> -valor	0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Bacterias mesófilas aerobias	T1 (Control)	7.25 ± 0.04^e	8.54 ± 0.14^a	8.20 ± 0.09^c
	T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	7.16 ± 0.06^e	8.46 ± 0.15^a	8.11 ± 0.10^c
	T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.93 ± 0.03^f	8.31 ± 0.11^b	7.91 ± 0.09^d
	<i>p</i> -valor	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Bacterias Coliformes Totales	T1 (Control)	6.14 ± 0.06^a	4.21 ± 0.03^b	3.68 ± 0.10^d
	T2 (Nisina 12.5 mg/kg)	6.10 ± 0.05^a	4.16 ± 0.07^b	3.42 ± 0.12^e
	T3 (Nisina 25.0 mg/kg)	6.03 ± 0.04^a	3.91 ± 0.05^c	3.11 ± 0.10^f
	<i>p</i> -valor	0.0965	< 0.0001	< 0.0001

Nota: Valores expresados en Media $\pm$ Desviación Estándar. Letras distintas (a, b, c, d, e, f) en la interacción general dentro de cada variable indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

5.4.1. Selección y Preparación del Panel Evaluador

La evaluación sensorial afectiva se realizó con consumidores no entrenados (jueces afectivos, $n = 100$), seleccionados aleatoriamente entre estudiantes, personal académico y público en general dentro de una institución de educación superior en el Estado de México. El criterio de inclusión consideró a personas consumidoras habituales de chorizo de cerdo, sin aversiones ni alergias alimentarias declaradas y con disponibilidad de participar en la prueba. Previo al inicio de las sesiones, a los evaluadores se les explicaron las instrucciones

generales del ensayo sin revelar la codificación ni la identidad de los tratamientos para evitar sesgos en la respuesta (Ruiz-Capillas et al., 2021).

5.4.2. Preparación y Presentación de las Muestras

Únicamente se sometieron a evaluación sensorial aquellos tratamientos que mostraron un comportamiento significativo en la caracterización microbiológica previa. La prueba sensorial se llevó a cabo específicamente al día 5 de maduración del producto, etapa establecida para garantizar un perfil sensorial intermedio y equilibrado, caracterizado por un nivel de acidez adecuado derivado de la fermentación, evitando extremos de sub-acidez o acidez excesiva (Barcenilla et al., 2022).

Las muestras de chorizo se cocinaron al vapor durante 20 min hasta alcanzar la cocción adecuada para su consumo. Posterior al cocimiento, el embutido se troceó y se mantuvo en baño maría a temperatura constante para garantizar su templado térmico adecuado al momento de la degustación. Las porciones se sirvieron en recipientes desechables de grado alimenticio, se proporcionó agua a temperatura ambiente y una galleta integral entre ambas muestras para el enjuague bucal y la neutralización de los sabores residuales.

5.4.3. Diseño de la Boleta Sensorial

La recolección de los datos sensoriales se realizó mediante una boleta estructurada en dos dimensiones de respuesta:

- Aceptabilidad General y por Atributo Específico: Se empleó una escala hedónica verbal estructurada de 9 puntos (ISO 4121:2003; Li et al., 2014) con opciones desde "1 = Me disgusta extremadamente", pasando por "5 = Ni me gusta ni me disgusta", hasta "9 = Me gusta extremadamente". Con esta escala se midió la Aceptabilidad Global, así como la aceptabilidad hedónica específica para cada uno de los cinco atributos definidos previamente (Color naranja, Aroma a especias, Nivel de acidez, Sabor a especias y Sensación grasosa).

- Escala Just-About-Right (JAR): Para determinar el nivel de adecuación de la intensidad percibida en cada propiedad organoléptica, se aplicó una escala bipolar estructurada de 5 puntos JAR: 1 = Insuficiente, 2 = Algo insuficiente, 3 = Adecuado (nivel JAR ideal), 4 = Muy intenso y 5 = Demasiado intenso. Esta valoración se realizó punto a punto para los cinco descriptores seleccionados.

5.4.4. Diseño y Análisis Estadístico

El procesamiento y análisis estadístico de los datos sensoriales se ejecutó bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), considerando las formulaciones de chorizo (Muestra Control y Muestra con nisina a 25 mg/kg) como factor fijo y a los evaluadores no entrenados ($n = 100$) como factor de bloqueo para controlar la variabilidad inter-sujeto. Los datos cuantitativos obtenidos de la escala hedónica de 9 puntos (Aceptabilidad Global y los atributos específicos: Color naranja, Aroma a especias, Nivel de acidez, Sabor a especias y Sensación grasosa) se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias de los tratamientos se evaluaron mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$). Asimismo, se determinó el coeficiente de determinación (R^2) para evaluar la bondad de ajuste y la proporción de variabilidad explicada por el modelo con bloques.

El diagnóstico de adecuación sensorial y su efecto directo sobre la aceptabilidad general se determinó mediante el procedimiento de Penalty Analysis (Análisis de Penalización) utilizando el software XLSTAT (v. 2023.2.1414). Las respuestas de la escala JAR de 5 puntos se colapsaron en tres categorías principales: "Por debajo del ideal" (niveles 1 y 2: Insuficiente y Algo insuficiente), "Adecuado / JAR" (nivel 3: Adecuado) y "Por encima del ideal" (niveles 4 y 5: Muy intenso y Demasiado intenso). Se calcularon los porcentajes de frecuencia de respuesta para cada categoría por atributo y tratamiento. Finalmente, se evaluó la caída media (Mean Drop) en la aceptabilidad global como consecuencia de las

penalizaciones en las categorías fuera del punto idóneo, identificando los atributos críticos que influyen en el rechazo o preferencia del producto.

5.5. Resultados y discusión

5.5.1. Selección y Preparación del Panel Evaluador

Con base en los resultados microbiológicos que posicionaron a los tratamientos T1 (Control) y T3 (Nisina 25.0 mg/kg) como significativos, se evaluaron ambas formulaciones al quinto día de maduración mediante un panel no entrenado ($n = 100$) integrado por miembros de la comunidad universitaria del Estado de México. La muestra estuvo constituida por consumidores habituales de chorizo de cerdo, sin restricciones dietéticas ni aversiones alimentarias registradas.

La fase de prueba se centró en la determinación de la Aceptabilidad Global y la evaluación de los cinco atributos clave seleccionados durante la etapa previa de generación de descriptores (ISO 11035, 2021): Color naranja, Aroma a especias, Nivel de acidez, Sabor a especias y Sensación grasosa. Los jueces evaluaron a ciegas las muestras, bajo condiciones estandarizadas de presentación y temperatura, aplicando el protocolo de neutralización entre degustaciones para evitar la interferencia de sabores residuales.

5.5.2. Aceptabilidad Global

El Análisis de Varianza (ANOVA) bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) determinó que la adición del bioconservador no afectó negativamente la aceptación global del chorizo de cerdo al Día 5 de maduración, registrándose la ausencia de diferencias estadísticamente significativas ($F_{1,99} = 1.893$, $p = 0.172$) entre las muestras evaluadas.

El tratamiento que contenía nisina en concentración de 25 mg por kg alcanzó la valoración promedio más alta con un puntaje de 7.02 ± 1.33 , ubicándose en la categoría hedónica de "Me gusta moderadamente" de la escala de 9 puntos. Por su parte, la Muestra Control presentó una media de 6.80 ± 1.52 , correspondiente a la categoría de "Me gusta ligeramente". La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) confirmó que ambos tratamientos pertenecen al mismo grupo

estadístico, demostrando que la adición de nisina mantiene las características sensoriales tradicionales sin generar rechazo por parte del consumidor.

El modelo lineal ajustado presentó un coeficiente de determinación global de $R^2 = 0.6870$ (68.70% de la variabilidad explicada). La incorporación del Juez como factor de bloque resultó altamente significativa ($p = 6.94 \times 10^{-5}$), lo que valida el diseño experimental empleado al aislar de forma efectiva la variabilidad inter-sujeto entre los 100 evaluadores y reducir la varianza del error experimental.

La aceptación organoléptica observada en tratamiento con nisina a 25mg/kg responde al comportamiento sensorialmente neutro cuando se incorpora en concentraciones de uso alimentario. A diferencia de la adición de extractos vegetales concentrados que suelen impartir notas herbales penetrantes, astringencia o resabios amargos en embutidos (Munekata et al., 2020), la nisina como péptido antimicrobiano de la familia de los lantibióticos actúa mediante la permeabilización de la membrana celular de bacterias Gram-positivas sin alterar las propiedades fisicoquímicas iniciales del sistema ni generar metabolitos volátiles que enmascaren el conjunto de condimentos (Gharsallaoui et al., 2016).

Asimismo, la literatura reporta que la aplicación de bacterias lácticas y sus bacteriocinas en la bioconservación cárnica ejerce un control sobre la microbiota (Barcenilla et al., 2022), reduce el estrés oxidativo microbiano sobre la matriz lipídica y mitiga la degradación de los pigmentos aportados por los chiles secos, contribuyendo a preservar la estabilidad del color y las notas aromáticas características de especias como el orégano y el comino durante el oreo del embutido (Fell et al., 2024).

Durante los primeros cinco días de maduración, la microbiota láctica metaboliza los carbohidratos solubles disponibles produciendo ácidos orgánicos y reduciendo gradualmente el pH de la matriz cárnica (Nikodinoska et al., 2023). La nisina, al poseer una actividad bactericida y bacteriostática contra bacterias Gram-positivas, ejerce un control sobre la cinética poblacional de las bacterias ácido-lácticas (BAL), desacelerando la tasa de acidificación sin interrumpir el proceso fermentativo (Barcenilla et al., 2022). Este control cinético previene un

descenso brusco del pH y evita la acumulación excesiva y desproporcionada de ácido láctico asociada comúnmente con notas organolépticas agrias, vinagrosas o punzantes en embutidos madurados (Fell et al., 2024). De esta manera, la adición del bioconservador permite que la Muestra con nisina mantenga un nivel de acidez atenuado y armónico con los componentes aromáticos y las especias tradicionales del chorizo (Ruiz-Capillas et al., 2021).

5.5.3. Diagnóstico de Adecuación JAR (Just-About-Right)

El diagnóstico de adecuación sensorial mediante la escala JAR (*Just-About-Right*) reveló un perfil de alta conformidad en la mayoría de los atributos evaluados al Día 5 de maduración (Figuras 10 y 11). La Sensación grasosa y el Nivel de acidez destacaron como los parámetros con mayor grado de satisfacción, superando en ambas formulaciones el umbral del 70% de respuestas en la categoría ideal (JAR), lo que demuestra que la adición de nisina (25 mg/kg) no alteró la percepción de untuosidad ni generó un perfil de acidez indeseado por el consumidor.

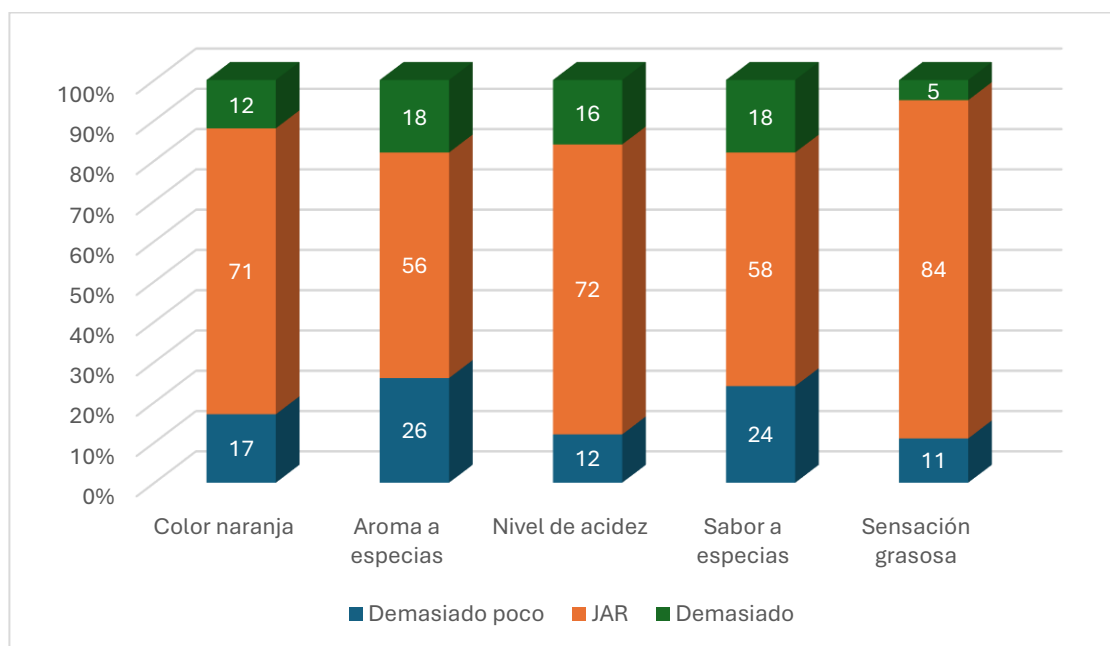


Figura 10. Evaluación del nivel de adecuación ideal (JAR) para la Muestra Control sin nisina por kilogramo

Las dimensiones de Aroma a especias y Sabor a especias mantuvieron una estabilidad entre tratamientos, conservando respuestas ideales en la escala JAR superiores al 56%. La única variación relevante ocurrió en el Color naranja, donde la muestra con nisina registró una leve contracción de la adecuación óptima al 68%, incrementando al 20% la percepción de coloración insuficiente.

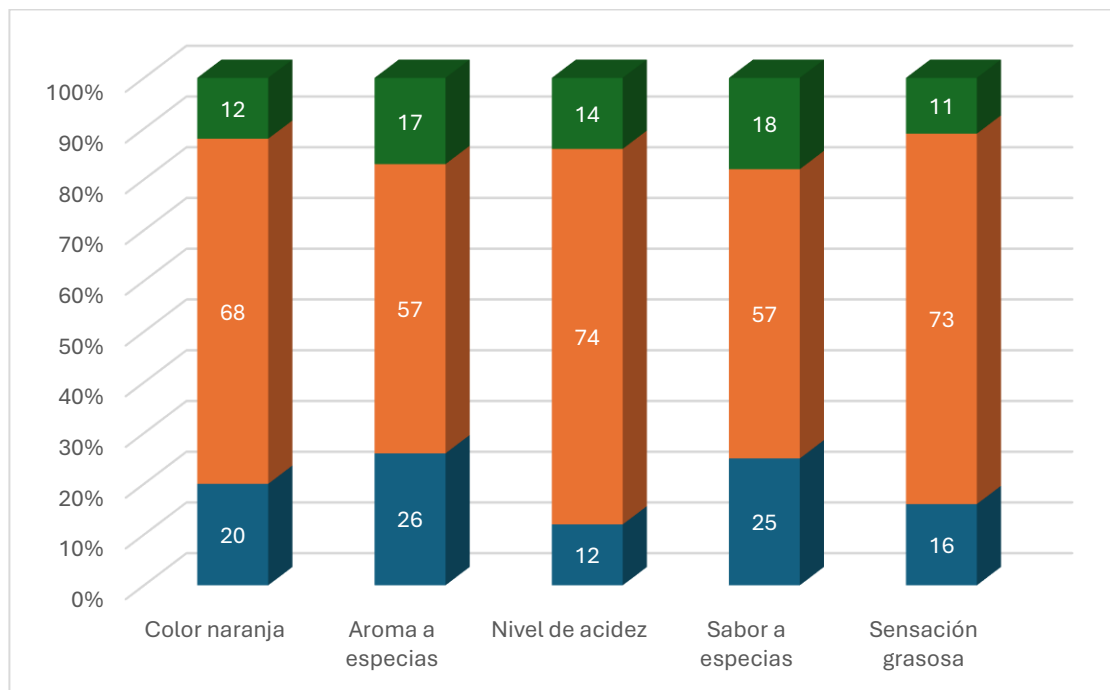


Figura 11. Evaluación del nivel de adecuación ideal (JAR) para la Muestra con 25mg de nisina por kilogramo

5.5.4. Análisis de Penalización (Penalty Analysis)

El análisis de penalizaciones determinó el impacto de las desviaciones de la escala JAR sobre la Aceptabilidad Global al Día 5 de maduración (Cuadro 15). En la Muestra Control, la única penalización significativa correspondió a la deficiencia en el Nivel de acidez ("Bajo nivel de acidez", 12%).

Para el tratamiento con adición de 25 mg/kg de nisina, la percepción de Coloración naranja insuficiente (20% de frecuencia) y la categoría "Leve sensación grasosa" (16%) representaron una penalización. Las variaciones registradas en Aroma a especias y Sabor a especias no mostraron valores significativos ($p > 0.05$), confirmando que las ligeras desviaciones detectadas por

los consumidores en el perfil aromático no afectaron drásticamente la preferencia global del producto.

Cuadro 16. Análisis de penalizaciones (Penalty Analysis / Mean Drop) sobre la Aceptabilidad Global de los atributos sensoriales del chorizo de cerdo al Día 5 de maduración.

Muestra	Atributo Sensorial	% JAR (Ideal)	Desviación no JAR Evaluada	% no JAR	Caída en la Media (Mean Drop)	Valor p
Tratamiento control	Color naranja	71	Insuficiente	17	0.518	0.183
	Aroma a especias	56	Leve aroma	26	-0.205	0.552
	Nivel de acidez	72	Bajo nivel de acidez	12	1.319	0.004*
	Sabor a especias	58	Leve sabor	24	0.274	0.470
	Sensación grasosa	84	Leve sensación	11	0.494	0.391
Tratamiento con 25 mg/kg de nisina	Color naranja	68	Insuficiente	20	0.821	0.011*
	Aroma a especias	57	Leve aroma	26	0.553	0.058
	Nivel de acidez	74	Bajo nivel de acidez	12	-0.099	0.548
	Sabor a especias	57	Leve sabor	25	0.433	0.134
	Sensación grasosa	73	Leve sensación	16	0.997	0.004*

Nota. $n = 100$ evaluadores. * = estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). Se presentan las desviaciones no JAR de mayor peso analítico sobre la caída de la media.

La alta proporción de consumidores que clasificaron el nivel de acidez en la categoría JAR para la muestra con nisina confirma la estabilidad evaluada en el ANOVA. La nisina reguló la velocidad fermentativa de las bacterias ácido-lácticas

(BAL) sin inhibirlas totalmente, previniendo sobre-acidificaciones (Fell et al., 2024; Nikodinoska et al., 2023). Este control cinético conservó el equilibrio con los compuestos volátiles del bouquet de especias (orégano y comino), manteniendo respuestas JAR de sabor en ambos tratamientos (Ruiz-Capillas et al., 2021).

Por otro lado, la penalización significativa observada en la muestra con nisina por percepción de coloración no naranja ($p = 0.011$) refleja una alteración apreciada por una quinta parte del panel (20%). Aunque las bacteriocinas carecen de actividad oxidante directa, el ajuste en la velocidad de acidificación y la fuerza iónica al incorporar 25 mg/kg de nisina puede incidir levemente en la estabilidad de los carotenoides liposolubles (capsantina y capsorrubina del chile) o en el estado de la mioglobina en la superficie durante el cocinado al vapor (Gharsallaoui et al., 2016; Munekeata et al., 2020).

Finalmente, la penalización por leve sensación grasosa en la muestra con 25 mg/kg de nisina ($p = 0.004$), indica que una fracción del panel percibió una menor lubricación en boca. No obstante, las elevadas proporciones JAR obtenidas para la Sensación grasosa constatan que el proceso de emulsión, picado del tocino y templado térmico mantuvieron los lípidos adecuadamente enlazados a la red proteica, impidiendo exudados desproporcionados durante el calentamiento.

5.6. Conclusiones

La evaluación sensorial afectiva realizada con un panel de 100 consumidores demostró que la incorporación de nisina a 25.0 mg/kg en el chorizo de cerdo al quinto día de oreo preserva la aceptabilidad sensorial del embutido. El ANOVA no registró diferencias estadísticamente significativas en la Aceptabilidad Global entre la muestra control y el tratamiento con bioconservador, posicionando a este último en la categoría hedónica de "Me gusta moderadamente".

La modulación que ejerce la nisina sobre la dinámica poblacional de la microbiota láctica permitió regular la cinética de acidificación sin interrumpir la Fermentación. Esta atenuación en la velocidad de producción de ácido láctico previno perfiles

agrios, logrando que el 74% de los evaluadores clasificara el Nivel de acidez en la categoría ideal (Just-About-Right, JAR) y neutralizando la penalización significativa registrada en el tratamiento control por bajo nivel de acidez.

Las propiedades aromáticas del embutido mantuvieron su estabilidad, registrando niveles de adecuación JAR superiores para el Aroma a especias y Sabor a especias en ambos tratamientos. La ausencia de caídas significativas en la media de aceptabilidad confirmó que la bioconservación con nisina no genera resabios ni enmascara el buqué característico de las especias tradicionales, a diferencia de otros conservantes de origen vegetal.

El Análisis de Penalización (Penalty Analysis) identificó dos oportunidades de optimización en la formulación con nisina: el Color naranja (penalizado por los consumidores por percepción insuficiente y la Sensación grasosa. No obstante, el mantenimiento de valores altos de JAR en estos atributos, valida la integridad estructural de la matriz cárnica.

En conjunto, la adición de nisina a 25.0 mg/kg se consolida como una estrategia de bioconservación *Clean-Label* tecnológicamente viable para el chorizo de cerdo madurado. Esta formulación no solo ofrece la máxima eficacia microbiológica al contener mesófilos aerobios y coliformes totales al día 5 de oreado, sino que garantiza una alta viabilidad comercial al mantener la fidelidad sensorial exigida por el consumidor.

5.7. Literatura citada

- Agüero, N. de L., Frizzo, L. S., Ouwehand, A. C., Aleu, G., & Rosmini, M. R. (2020). Technological characterisation of probiotic lactic acid bacteria as starter cultures for dry fermented sausages. <https://doi.org/10.3390/foods9050596>
- Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2022). Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, 183, 108661. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>
- Fell, E. L., Brum, L. M., Nicoletti, E., Sartoreto, L., Hoelscher, H., Colet, R., Steffens, J., Zeni, J., Valduga, E., Cansian, R. L., Backes, G. T., & Steffens, C. (2024). Nisin or organic acid salt mixtures for the Calabrese-type sausages in industrial-scale production. *Brazilian Journal of Food Technology*, 27, e2023061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1981-6723.06123>
- Gharsallaoui, A., Oulahal, N., Joly, C., & Degraeve, P. (2016). Nisin as a Food Preservative: Part 1: Physicochemical Properties, Antimicrobial Activity, and Main

- Uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(8), 1262–1274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
- International Organization for Standardization. (2021). Sensory analysis — Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach (ISO Standard No. 11035:1994, Reviewed and confirmed in 2021). <https://www.iso.org/standard/19013.html>
- International Organization for Standardization. (2003). Sensory analysis — Guidelines for the use of quantitative response scales (ISO Standard No. 4121:2003). <https://www.iso.org/standard/33817.html>
- Li, B., Hayes, J. E., & Ziegler, G. R. (2014). Just-About-Right and ideal scaling provide similar insights into the influence of sensory attributes on liking. *Food quality and preference*, 37, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.019>
- Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *Current Opinion in Food Science, Food Chemistry and Biochemistry • Food Bioprocessing*, 31, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.003>
- Nikodinoska, I., Tabanelli, G., Baffoni, L., Gardini, F., Gaggia, F., Barbieri, F., & Gioia, D. D. (2023). Characterization of Lactic Acid Bacteria Isolated from Spontaneously Fermented Sausages: Bioprotective, Technological and Functional Properties. *Foods*, 12(4), 727. <https://doi.org/10.3390/foods12040727>
- Redondo-Solano, M., Cordero-Calderón, V., & Araya-Morice, A. (2023). Calidad microbiológica del chorizo crudo expendido en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1). <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50999>
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Meat Products Development. *Foods*, 10(2), 429. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Santos, J. C. P., Sousa, R. C. S., Otoni, C. G., Moraes, A. R. F., Souza, V. G. L., Medeiros, E. A. A., Espitia, P. J. P., Pires, A. C. S., Coimbra, J. S. R., & Soares, N. F. F. (2018). Nisin and other antimicrobial peptides: Production, mechanisms of action, and application in active food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.008>
- Yu, H. H., Chin, Y.-W., & Paik, H.-D. (2021). Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review. *Foods*, 10(10), 2418. <https://doi.org/10.3390/foods10102418>

6. CONCLUSIÓN GENERAL

La presente investigación demostró la viabilidad integral socioeconómica y biotecnológica de la transición hacia productos cárnicos de etiqueta limpia (*Clean Label*) en México, tomando como modelo el chorizo tradicional de cerdo. A través de un enfoque metodológico interdisciplinario que combinó la economía y estadística aplicada y la tecnología de este embutido cárnico, se validó que la sustitución de conservadores sintéticos por bioconservadores de origen natural no solo es técnicamente factible, sino comercialmente rentable.

En el ámbito socioeconómico, el modelado econométrico confirmó que el tipo de conservador es el atributo de mayor peso cuantitativo en la decisión de compra, superando al precio, al origen y al proceso de elaboración. La alta disposición a pagar marginal (DAPMg) por conservadores naturales tanto en modalidad presencial como en línea, evidencia la existencia de un segmento de mercado maduro, dispuesto a remunerar la eliminación de aditivos sintéticos. Asimismo, la valoración positiva de los atributos artesanal y regional refleja que el consumidor asocia la inocuidad natural con la autenticidad y la tipicidad del producto.

En la fase experimental, la adición de nisina a 25 mg/kg demostró una alta eficacia biotecnológica al ejercer un control microbiológico sostenido sobre coliformes totales y flora deterioradora durante los 9 días de oreado, previniendo la sobre acidificación sin interferir con la microbiota láctica útil para la maduración. Desde la perspectiva fisicoquímica, el bioconservador reguló la cinética de acidificación y preservó la actividad de agua (a_w) y la estabilidad de la emulsión sin alterar la composición bromatológica proximal. Sensorialmente, la nisina mantuvo la Aceptabilidad Global en niveles de satisfacción superiores al

70% en acidez y aroma, preservando la identidad organoléptica del chorizo tradicional.

De esta manera, se evidencia que la nisina constituye una alternativa sanitariamente segura y tecnológicamente viable para sustituir los conservadores sintéticos. En matrices cárnicas condimentadas, la nisina asume con rigor la barrera microbiológica contra bacterias Gram⁺, mientras que los carotenoides y compuestos fenólicos de las especias tradicionales proveen la estabilidad del color y la protección antioxidante. Esta sinergia resuelve la histórica complejidad del reemplazo de las sales de cura, ofreciendo una solución científica sin comprometer la inocuidad, la vida útil ni la calidad sensorial del embutido. A su vez, estos hallazgos dan pauta para futuras líneas de investigación, como la ejecución de pruebas de desafío microbiológico con patógenos en condiciones de estrés, la evaluación de combinaciones con aceites esenciales y extractos botánicos para ampliar el espectro antibacteriano hacia Gram-negativas, y el escalamiento a nivel piloto para contrastar los costos de formulación con la DAP calculada mediante pruebas reales en punto de venta que midan la tasa de recompra y la elasticidad del mercado *Clean Label*.

7. ANEXOS

ANEXO 1. DISEÑO ENCUESTA DE VALORACIÓN ECONÓMICA (EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA) MODALIDAD EN LÍNEA



Chorizo mexicano



Cuando envíe este formulario, no recopilará automáticamente sus detalles, como el nombre y la dirección de correo electrónico, a menos que lo proporcione usted mismo.

Descripción del producto



El **chorizo de cerdo** es un embutido curado hecho de carne y grasa de cerdo picada, sazonado con especias y condimentos. Es una parte importante de la gastronomía mexicana, destacado por su sabor único, que a menudo se ve influenciado por la incorporación de chiles en su receta, además, su color puede variar según los ingredientes utilizados.

Como método de conservación en este tipo de productos se aplican comúnmente **CONSERVADORES QUÍMICOS** como lo son los nitratos y nitritos que permiten alargar la vida útil del producto evitando su deterioro, sin embargo, también pueden usarse **CONSERVADORES NATURALES** o bioconservadores, que para este caso se trata del uso de **NISINA** que es un compuesto producido por cepas de *Lactococcus lactis* (una bacteria ácido-láctica) que tiene un efecto inhibidor sobre bacterias patógenas.

Recordemos que el uso de conservadores en la elaboración de este tipo de productos **es esencial** para prevenir el crecimiento de microorganismos que podrían causar enfermedades. Además, estos ingredientes ayudan a prolongar la vida útil del chorizo, manteniendo su frescura, sabor y color característico por más tiempo.

Siguiente

Instrucciones



Como primera parte se le presentan algunas preguntas generales sobre hábitos de consumo de chorizo:

Atrás

Siguiente

Preguntas generales

Seleccione la opción que mejor describa su caso

1

¿Consume usted chorizo mexicano (de cerdo)?

*  (1 Punto)

Sí

2

¿Con qué frecuencia consume chorizo de cerdo?

*  (5 puntos)

- ☐ 1 o 2 veces al mes
- ☒ 3 o 4 veces al mes
- ☐ 5 o más veces al mes

3

¿Dónde compra usted el chorizo regularmente?  

- ☒ Mercado tradicional
- ☐ Supermercado
- ☐ Carnicería local
- ☐ Directo de productores

Atrás

Siguiente

Instrucciones



Ahora se le presentarán diferentes opciones que podría comprar. Cada opción tiene características diferentes por lo que su tarea será seleccionar la opción que más le gustaría comprar en función de esas características. No hay respuestas correctas o incorrectas, simplemente elija la opción que más le atraiga.

Atrás

Siguiente

4

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



- ☐ Opción A
- ☐ Opción B
- ☐ Ninguna

5

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



- ☐ Opción A
- ☐ Opción B
- ☐ Ninguna

6

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



☐ Opción A

☐ Opción B

☐ Ninguna

7

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



☐ Opción A

☐ Opción B

☐ Ninguna

8

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



☐ Opción A

☐ Opción B

☐ Ninguna

9

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



☐ Opción A

☐ Opción B

☐ Ninguna

10

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



- ☐ Opción A
- ☐ Opción B
- ☐ Ninguna

11

¿Cuál de las siguientes opciones de chorizo mexicano preferiría comprar? Considere la información de cada imagen.

* 



- ☐ Opción A
- ☐ Opción B
- ☐ Ninguna

Chorizo mexicano

* Obligatorio

Datos socioeconómicos

Por último, si es tan amable de proporcionar los siguientes datos:

12

¿Entre que rango de edad se encuentra usted? *

- ☒ Entre 18 y 31 años
- ☐ Entre 32 y 45 años
- ☐ Entre 46 y 59 años
- ☐ 60 años o mas

13

¿De qué estado del país (México) es originario? *

Selecciona la respuesta

14

¿Cuál es su ocupación? *

- ☐ Campesino/ Agricultor/ Jornalero
- ☐ Trabaja por su cuenta
- ☐ Empleado
- ☐ Labores del hogar
- ☐ Jubilado
- ☐ Estudiante

15

¿Entre que rango se encuentra su ingreso mensual? *

- ☐ Menos de \$5000.00
- ☐ De \$5,000 a \$10,000
- ☐ De \$10,000 a \$15,000
- ☐ Más de \$15,000

16

¿Cuál es su nivel de escolaridad? *



- ☐ Sin escolaridad
- ☐ Básica (primaria o secundaria)
- ☐ Media superior (preparatoria)
- ☐ Superior (licenciatura)
- ☐ Posgrado

Atrás

Siguiente

Chorizo mexicano



Muchas gracias!



Le agradecemos por participar en nuestra encuesta. Su respuesta es fundamental para poder ofrecer productos que se ajusten mejor a sus necesidades y preferencias.
¡Gracias por su tiempo y apoyo!

Atrás

Enviar

 Microsoft 365

Este contenido lo creó el propietario del formulario. Los datos que envíes se enviarán al propietario del formulario. Microsoft no es responsable de las prácticas de privacidad o seguridad de sus clientes, incluidas las que adopte el propietario de este formulario. Nunca des tu contraseña.

Microsoft Forms | Encuestas, cuestionarios y sondeos con tecnología de inteligencia artificial [Crear mi propio formulario](#)

El propietario de este formulario no ha proporcionado una declaración de privacidad sobre cómo utilizarán los datos de tus respuestas. No proporciones información personal o confidencial. | [Términos de uso](#)

ANEXO 2. DISEÑO ENCUESTA DE VALORACIÓN ECONÓMICA (EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA) MODALIDAD PRESENCIAL.

CHORIZO DE CERDO							
SECCIÓN 1	El objetivo de la encuesta es valorar qué factores influyen en la preferencia y aceptación de chorizo mexicano, considerando atributos como el proceso de producción, tipo de conservador, origen, precio y color.						
	Descripción del producto	El chorizo de cerdo es un embutido curado hecho de carne y grasa de cerdo picada, sazonado con especias y condimentos. Es una parte importante de la gastronomía mexicana, destacado por su sabor único, que a menudo se ve influenciado por la incorporación de chiles en su receta, además, su color puede variar según los ingredientes utilizados.					
		Como método de conservación en este tipo de productos se aplican comúnmente CONSERVADORES QUÍMICOS como lo son los nitratos y nitritos que permiten alargar la vida útil del producto evitando su deterioro, sin embargo, también pueden usarse CONSERVADORES NATURALES o Bioconservadores, que para este caso se trata del uso de NISINA que es un compuesto producido por cepas de <i>Lactococcus lactis</i> (una bacteria ácido-láctica) que tiene un efecto inhibidor sobre bacterias patógenas. Recordemos que el uso de conservadores en la elaboración de este tipo de productos es esencial para prevenir el crecimiento de microorganismos que podrían causar enfermedades. Además, estos ingredientes ayudan a prolongar la vida útil del chorizo, manteniendo su frescura, sabor y color característico por más tiempo.					
		¿Con qué frecuencia consume chorizo de cerdo?					
		a) 1 o 2 veces al mes	b) 3 o 4 veces al mes	c) Mas de 5 veces al mes			
SECCIÓN 2	¿Dónde compra usted el chorizo regularmente?						
	a) Mercado tradicional	b) Supermercado	c) Carnicería local	d) Directo de productores			
	Instrucciones						
	Ahora se le presentarán diferentes opciones que podría comprar. Cada opción tiene características diferentes por lo que su tarea será seleccionar la opción que más le gustaría comprar en función de esas características. No hay respuestas correctas o incorrectas, simplemente elija la opción que más le atraiga.						
SECCIÓN 3	Comparaciones	1	Opción A	Opción B	Ninguna		
		2	Opción A	Opción B	Ninguna		
		3	Opción A	Opción B	Ninguna		
		4	Opción A	Opción B	Ninguna		
		5	Opción A	Opción B	Ninguna		
		6	Opción A	Opción B	Ninguna		
		7	Opción A	Opción B	Ninguna		
		8	Opción A	Opción B	Ninguna		
		SECCIÓN 3	Datos socioeconómicos	Por último, si es tan amable de proporcionar los siguientes datos:			
¿Entre que rango de edad se encuentra usted?							
a) Entre 18 y 31 años	b) Entre 32 y 45 años			c) Entre 46 y 59 años	d) Mas de 60 años		
¿De qué estado del país es originario?							

¿Cuál es su ocupación?							
a) Campesino Agricultor jornalero	b) Trabaja por su cuenta			c) Empleado	d) Labores del hogar	e) Jubilado	f) Estudiante
¿Entre que rango se encuentra su ingreso mensual?							
a) Menos de \$5000.00	b) De \$5,000 a \$10,000			c) De \$10,000 a \$15,000	d) Más de \$15,000		
SECCIÓN 3	Datos socioeconómicos	¿Cuál es su nivel de escolaridad?					
		a) Sin escolaridad	b) Básica (primaria y secundaria)	c) Media superior (preparatoria)	d) Superior (licenciatura)	e) Posgrado	



Dinámica de presentación de muestras en físico de manera presencial

ANEXO 3. BOLETAS DE EVALUACIÓN SENSORIAL, ACEPTABILIDAD GLOBAL Y JAR (*JUST-ABOUT-RIGHT*)

JUEZ: _____

Pruebe la muestra e indique su **ACEPTABILIDAD GLOBAL** del CHORIZO.

- 1 = Me disgusta extremadamente
- 2 = Me disgusta mucho
- 3 = Me disgusta moderadamente
- 4 = Me disgusta ligeramente
- 5 = Ni me gusta ni me disgusta
- 6 = Me gusta ligeramente
- 7 = Me gusta moderadamente
- 8 = Me gusta mucho
- 9 = Me gusta extremadamente

MUESTRA: **873**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

JUEZ: _____

Pruebe la muestra que se le presenta e indique la **ACEPTABILIDAD** para los atributos específicos y lo **ADECUADO** de la percepción del atributo.

- 1 = Me disgusta extremadamente
- 2 = Me disgusta mucho
- 3 = Me disgusta moderadamente
- 4 = Me disgusta ligeramente
- 5 = Ni me gusta ni me disgusta
- 6 = Me gusta ligeramente
- 7 = Me gusta moderadamente
- 8 = Me gusta mucho
- 9 = Me gusta extremadamente

MUESTRA: **873**

Señale la aceptabilidad para el **COLOR NARANJA** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **COLOR NARANJA** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **AROMA A ESPECIAS** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **AROMA A ESPECIAS** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **NIVEL DE ACIDEZ** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **NIVEL ACIDEZ** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **SABOR A ESPECIAS** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **SABOR A ESPECIAS** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para la **SENSACIÓN GRASOSA** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría la **SENSACIÓN GRASOSA** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

JUEZ: _____

Pruebe la muestra que se le presenta e indique la **ACEPTABILIDAD** para los atributos específicos y lo **ADECUADO** de la percepción del atributo.

- 1 = Me disgusta extremadamente
- 2 = Me disgusta mucho
- 3 = Me disgusta moderadamente
- 4 = Me disgusta ligeramente
- 5 = Ni me gusta ni me disgusta
- 6 = Me gusta ligeramente
- 7 = Me gusta moderadamente
- 8 = Me gusta mucho
- 9 = Me gusta extremadamente

MUESTRA: **336**

Señale la aceptabilidad para el **COLOR NARANJA** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **COLOR NARANJA** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **AROMA A ESPECIAS** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **AROMA A ESPECIAS** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **NIVEL DE ACIDEZ** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **NIVEL ACIDEZ** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para el **SABOR A ESPECIAS** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría el **SABOR A ESPECIAS** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

Señale la aceptabilidad para la **SENSACIÓN GRASOSA** del chorizo:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿cómo calificaría la **SENSACIÓN GRASOSA** del chorizo?

1 Insuficiente	2 Algo insuficiente	3 Adecuado	4 Muy intenso	5 Demasiado intenso
-------------------	------------------------	---------------	------------------	------------------------

JUEZ: _____

Pruebe la muestra e indique su **ACEPTABILIDAD GLOBAL** del CHORIZO.

- 1 = Me disgusta extremadamente
- 2 = Me disgusta mucho
- 3 = Me disgusta moderadamente
- 4 = Me disgusta ligeramente
- 5 = Ni me gusta ni me disgusta
- 6 = Me gusta ligeramente
- 7 = Me gusta moderadamente
- 8 = Me gusta mucho
- 9 = Me gusta extremadamente

MUESTRA: **336**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---