

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ciencias Agrícolas



LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN EN CANALES PORCINAS

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL EN
CLIMAS CÁLIDOS**

PRESENTA

ABRAHAM HERRERA RUVALCABA

DIRECTOR

DR. SAÚL HERNÁNDEZ AQUINO

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

NOVIEMBRE DE 2025

OFICIO DE APROBACIÓN DE TESIS POR LA COORDINACIÓN DEL PROGRAMA



Universidad Autónoma
de Baja California

"2025, año del Turismo Sostenible como impulsor del Bienestar Social y Progreso"

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Coordinación de Investigación y Posgrado

Oficio núm. 078/2025-2

C. ABRAHAM HERRERA RUVALCABA
PRESENTE.

Por este conducto le envío un cordial saludo y al mismo tiempo me permito informarle que el documento de tesis titulado **"LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN EN CANALES PORCINAS"** realizado durante sus estudios (periodo 2022-2 a 2024-1) en la Maestría en Ciencias en Producción Animal en Climas Cálidos, fue recibido y revisado por esta Coordinación para el cumplimiento con los lineamientos establecidos en el programa.

Con base a la evaluación realizada a la tesis mencionada, ésta ha sido **Aprobada** por la Coordinación, por lo cual se turnará por oficio a los integrantes del Comité Particular, quienes una vez revisado el documento, dentro de los tiempos establecidos, emitirán su voto aprobatorio.

Sin otro particular quedo a sus órdenes.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN ANIMAL
EN CLIMAS CALIDOS I.C.A.

ATENTAMENTE

Ejido Nuevo León, Valle de Mexicali a 14 de noviembre de 2025.
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER"


DR. NÉSTOR ARCE VÁZQUEZ
COORDINADOR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



COORDINACIÓN DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO ICA

C.c.p. Dr. Saahí González Maldonado- Directora de tesis
C.c.p. Dra. Marisol Galicia Juárez- Coordinadora de Investigación y Posgrado del ICA-UABC.
C.c.p. Archivo
NAV/amrd

La presente tesis titulada “LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN EN CANALES PORCINAS”, realizada por el C. Abraham Herrera Ruvalcaba, fue dirigida por el Dr. Saúl Hernández Aquino, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL EN CLIMAS CÁLIDOS

Consejo Particular

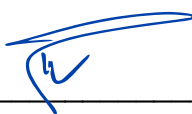
Presidente/Director


Dr. Saúl Hernández Aquino

Secretario/Asesor


Dr. Juan González Maldonado

Sinodal/Asesor


Dr. Jesús Santillano Cazares

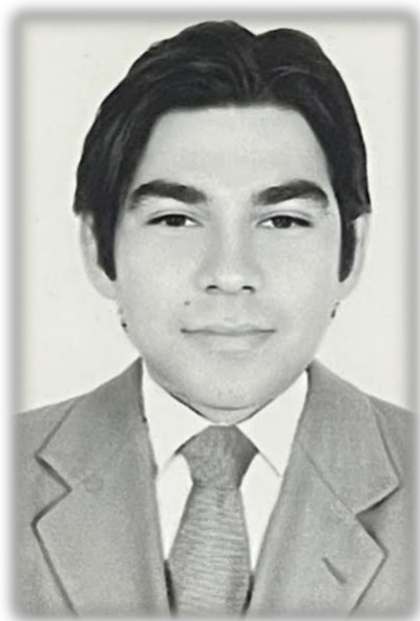
Sinodal/Asesor


Dr. Rodrigo Flores Garivay

“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México; Septiembre de 2025.

RESUMEN CURRICULAR DEL SUSTENTANTE



Lugar de nacimiento: Mexicali, Baja California, México

Edad: 28 años

Licenciatura: Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Instituto de Ciencias Agrícolas, 2021

Áreas de interés: Salud animal, inocuidad e higiene pecuaria

Habilidades profesionales: Manejo y procesamiento de muestras, manejo de equipo y material de laboratorio, manejo de equipo en faena, técnico - operador en rastro, inseminación artificial, manejo de medicación y salud animal, manejo general de ganado.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ciencias Agrícolas, así como al posgrado que me brindaron apoyo incondicional y me hicieron sentir siempre en casa, rodeado de un personal con una gran calidad humana.

Al personal docente y administrativo que me apoyaron y brindaron la ayuda necesaria cuando más lo requería, dándome conocimientos para mi formación como profesional, haciéndome crecer como estudiante y persona. Gracias a todos mis profesores que a lo largo del posgrado se tomaron el tiempo de resolver mis dudas y mostrar amor a la docencia.

Un agradecimiento especial al Dr. Saúl Hernández Aquino quien inculcó en mí el interés por el área de microbiología e inocuidad, apoyando en mi formación por la investigación y realización de este trabajo siendo mi guía en todo momento.

DEDICATORIA

Esta tesis de investigación va dedicada especialmente a Dios, ya que sin su amor no hubiera podido culminar esta etapa de mi vida dándome salud, fuerza y motivación necesaria para enfrentar los retos que se me presentaban día a día en el trayecto de mi formación.

A mis padres Maximino Herrera Ponce y Herlinda Ruvalcaba Ríos, por darme la educación, el amor y la humildad que hicieron de mí una persona con principios y valores.

A mis hermanos Israel, Mario, Iván, Maximino, Paulina y Emmanuel, por ser siempre mi apoyo para que lograra mis metas y propósitos para poder culminar con mi carrera profesional.

A mi familia por impulsarme con sus buenos deseos hacia mi persona.

A mis amigos que creyeron en mí y me ayudaron a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, por brindarme buenos momentos durante mi etapa como estudiante y por apoyarme en cada semestre

ÍNDICE DE CONTENIDO

OFICIO DE APROBACIÓN DE TESIS POR LA COORDINACIÓN DEL PROGRAMA.....	ii
Consejo Particular.....	iii
RESUMEN CURRICULAR DEL SUSTENTANTE.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CUADRO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	2
3. OBJETIVO.....	2
4. REVISIÓN LITERARIA.....	2
4.1 Producto canal de cerdo.....	2
4.2 Microorganismos comunes y tipo de contaminación.....	10
4.3 Productores de ETA.....	11
4.4 Inocuidad y contaminación durante faena.....	16
4.5 Efecto antimicrobiano de los ácidos orgánicos.....	18
4.6 Efecto del ácido en la canal.....	19
4.6.1 Antecedentes de su uso.....	19
4.6.2 En la faena.....	20
4.6.3 Calidad del producto.....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1 Ubicación.....	22
5.2 Obtención de medias canales.....	22

5.3 Tratamientos	23
5.4 Análisis microbiológico de las muestras	23
5.5 Recuento de bacterias mesófilas aerobias totales y coliformes de las muestras	24
5.6 Color de las muestras	24
5.7 pH de las muestras.....	24
5.8 Temperatura y humedad de la canal y del medio	24
5.9 Análisis estadístico	25
6. RESULTADOS	25
7. DISCUSIÓN	38
8. CONCLUSIONES	41
9. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Especificaciones sanitarias de productos cárnicos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004	12
Cuadro 2. Límites máximos para microorganismos y parásitos en productos cárnicos por la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002	13
Cuadro 3. Criterios microbiológicos para productos cárnicos de acuerdo a la NOM-213-SSA1-2018.	14
Cuadro 4. Promedios de las lecturas tris estímulo de color del cuarto trasero de la canal de cerdo con el tratamiento de ácido acético en 2 tiempos de muestreo.	35
Cuadro 5. Promedios de las lecturas tri estímulo de color del cuarto trasero de la canal de cerdo con el tratamiento de ácido cítrico en 2 tiempos de muestreo.	36
Cuadro 6. Promedios de medidas de pH en las muestras con el tratamiento de ácido acético en 2 tiempos de muestreo.	37
Cuadro 7. Promedios de medidas de pH en las muestras con el tratamiento de ácido cítrico en 2 tiempos de muestreo	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores mundiales de carne de cerdo en el año 2024. (FAS–USDA 2024).	4
Figura 2. Consumo aparente (millones de toneladas) de carne de cerdo en México durante el periodo 2013-2020 (Elaboración con datos de SIAP-SADER, SIAVI-Secretaría de Economía, Números del Campo y Expectativas Agroalimentarias, 2020).	4
Figura 3. Consumo per cápita de carne en México, 2006-2020 Kg por persona, por año. (Elaborado por FIRA (2020), con información de USDA, INEGI y CONAPO).	5
Figura 4. Producción mensual de carne de porcino de los años 2021 a 2023, en miles de toneladas (Escenario mensual de productos agroalimentarios Dirección de Análisis Estratégico SIAP).	6
Figura 5 Evolución mensual de las importaciones y exportaciones mexicanas de carne de porcino 2020-2023 miles de toneladas (Escenario mensual de productos agroalimentarios Dirección de Análisis Estratégico SIAP).	6
Figura 6. Consumo de carne per cápita (expresado en peso al por menor). Fuente: OECD-FAO (2021).	7
Figura 7. Diagrama de flujo de faenado de cerdos. (Elaborado a partir de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 Y NOM-194-SSA1-2004).	9
Figura 8: Mecanismo de acción de los ácidos orgánicos en la célula bacteriana	18
Figura 9. Comportamiento de la temperatura (10 minutos) ambiental (línea con rombos) y de la canal (línea con triángulos) durante los muestreos.	25
Figura 10 Comportamiento de la temperatura (24 h) ambiental (línea con rombos) y de la canal (línea con triángulos) durante los muestreos.	26

Figura 11. Comportamiento de la humedad relativa en los diferentes tiempos de muestreo Tiempo 1 (línea con rombos) y Tiempo 2 (línea con triángulos) en los siete muestreos.....	27
Figura 12. Conteo de aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 1 (10 min.) en los siete muestreos.	28
Figura 13. Conteos de aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 2 (24 h.)	28
Figura 14. Conteos aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 1 (10 min.)	29
Figura 15. Unidades formadoras de colonias (log UFC) de aerobios totales de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 2 (24 h.)	30
Figura 16. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 1 (10 min.)	31
Figura 17. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 2 (24 h.)	32
Figura 18. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 1 (10 min.)	33
Figura 19. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 2 (24 h.)	34

LISTA DE ABREVIATURAS

Mt Millones de toneladas

UFC Unidad Formadora de Colonia

a* verde-rojo

b* amarillo-azul.

L* luminosidad

UFC g⁻¹ Unidades Formadoras de Colonias * gramos

ETA Enfermedad Transmitida por Alimento

E. coli Escherichia coli

NA No Aplica

pH potencial de Hidrógeno

NMP Número más probable

ml Mililitro

log₁₀ UFC g⁻¹ logaritmo base 10 del número de unidades formadoras de colonias por gramo

TA Temperatura ambiental

TC Temperatura de la canal

HA Humedad Ambiental

< Menor a

> Mayor a

RESUMEN

Una de las principales problemáticas dentro de la industria cárnica es la contaminación y deterioro prematuro provocado por la actividad de bacterias deteriorantes. Además, la contaminación por bacterias patógenas (*Escherichia coli* o *Salmonella sp.*) comprometen la salud del consumidor. Se ha demostrado la eficiencia del uso de ácidos orgánicos para la descontaminación de la carne. Sin embargo, su uso puede afectar las características de calidad. Es por eso que el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de ácido acético y cítrico con el fin de reducir la contaminación por bacterias aerobias totales y coliformes en canales porcinos, afectando lo menos posible sus características de calidad. Para esto se utilizaron medias canales las cuales se les asperjó soluciones de ácido acético y cítrico al 2 y 5%, se tomó una muestra de carne y se determinó el número de aerobios totales y coliformes (UFC g⁻¹) a los 10 min y 24 h, así mismo se realizaron mediciones de color y pH, adicionalmente se registró la temperatura ambiental y humedad relativa. Se consideró un modelo completamente aleatorizado. Las variables obtenidas en el estudio se analizaron mediante los procedimientos Proc GENMOD para las UFC y Proc GLM para variables continuas, además se realizó una prueba de medias con contrastes y comparación por Tukey ($P < 0.05$) (SAS 9.4). Se encontró que las concentraciones al 5% de ambos ácidos fueron más efectivas para la reducción de bacterias; y así mismo el ácido más efectivo fue el ácido acético. No se encontró que ninguna de las soluciones modificara el color o el pH de las muestras. Por lo que la aplicación de ácido acético en canales porcinos podría ser una estrategia que se pueda implementar para reducir la carga bacteriana en unidades de producción ya que mantiene su efecto por 24 h, a diferencia del ácido cítrico lo cual reducirá el peligro de enfermedades transmitidas por alimentos y permitirá alcanzar la inocuidad alimentaria.

ABSTRACT

One of the main problems within the meat industry is contamination and premature deterioration caused by the activity of spoilage bacteria. Additionally, contamination by pathogenic bacteria (*Escherichia coli* or *Salmonella* sp.) compromises consumer health. The efficiency of using organic acids for meat decontamination has been demonstrated. However, their use can affect quality characteristics. Therefore, the objective of this work was to determine the concentration of acetic and citric acids in order to reduce contamination by total aerobic bacteria and coliforms in pork carcasses, affecting their quality characteristics as little as possible. For this purpose, half carcasses were sprayed with 2% and 5% solutions of acetic and citric acids. A meat sample was taken, and the number of total aerobes and coliforms (CFU g⁻¹) was determined at 10 minutes and 24 hours. Color and pH measurements were also carried out, and ambient temperature and relative humidity were recorded. A completely randomized model was considered. The variables obtained in the study were analyzed using the Proc GENMOD procedure for CFU and Proc GLM for continuous variables, and a means test with contrasts and Tukey comparison ($P < 0.05$) was also performed (SAS 9.4). It was found that 5% concentrations of both acids were more effective in reducing bacteria; similarly, the most effective acid was acetic acid. None of the solutions were found to modify the color or pH of the samples. Therefore, the application of acetic acid on pork carcasses could be a strategy that can be implemented to reduce bacterial load in production units, as it maintains its effect for 24 hours, unlike citric acid. This will reduce the risk of foodborne illnesses and allow for achieving food safety.

1. INTRODUCCIÓN

La carne se define como el tejido muscular de animales, incluyendo mamíferos y aves, que se consume como alimento humano. Es una fuente rica en proteínas de alta calidad, así como en vitaminas y minerales importantes para el funcionamiento del cuerpo humano (Bilsborough & Mann, 2006).

Esta misma ha sido un componente fundamental en la alimentación humana a lo largo de la historia, siendo una fuente importante de nutrientes esenciales para el ser humano. Sin embargo, ha generado preocupaciones sobre su impacto en la salud por los distintos procesos que se realizan en la industria para su producción (Micha *et al.*, 2010).

Uno de los principales problemas dentro de esta es la contaminación y deterioro prematuro provocado por la actividad microbiana, pues la composición química y características biológicas de la carne, permiten que sea un excelente medio de cultivo de microorganismos (Devlieghere, *et al.*, 2004; Rodríguez Agudelo 2013). En animales sanos, los tejidos musculares son estériles, sin embargo, son susceptibles a la contaminación de su micro biota natural desde las primeras fases de producción (faenado, manipulación y exposición al medio) y permanece casi inalterable durante la cadena de proceso, siempre y cuando no se rompa la cadena de frío (Bruhn *et al.*, 2004; Jackson 2014; Nychas *et al.*, 2008). Adicionalmente a la actividad de bacterias deteriorantes, la contaminación por bacterias patógenas como *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus*, *Brucella*, *Clostridium*, *Bacillus* y *Pasteurella* (Kopper *et al.*, 2014) comprometen la salud del consumidor, al ser causantes de enfermedades transmitida por alimentos (ETA) (Duffy *et al.*, 2006). Los coliformes son un grupo bacteriano indicador de contaminación fecal en carne que a pesar de que la mayoría de sus serotipos son inofensivos, algunos son patogénicos y se les atribuye diversos brotes ETA a nivel mundial (Hiko, Asrat, and Zewde 2008), generalmente la contaminación sucede en los procesos de evisceración (Kopper *et al.*, 2014). La calidad microbiológica y la vida útil depende de la composición de la micro biota natural de la carne (Doulgeraki *et al.*, 2012). Respecto a lo anterior, el enfoque no es lograr carne con nulo contenido de

bacterias, al ser costoso y poco práctico (Stiles 1996), sino reducir la población bacteriana.

Es por ello que se han desarrollado métodos para la conservación y tratamiento inocuo de productos cárnicos, como lo es el uso de los ácidos orgánicos, sin embargo existe poca información del impacto que generan en la calidad de los mismos.

2. HIPÓTESIS

El rociado con soluciones de ácido acético y cítrico reduce la carga microbiana en canales porcinos sin comprometer sus características de calidad, como el color y el pH.

3. OBJETIVO

General

- Evaluar el efecto de la adición de ácidos orgánicos sobre la carga bacteriana en canales porcinos.

Específicos

- Evaluar el efecto del rociado de soluciones al 2 y 5% de ácido cítrico y ácido acético sobre la reducción de bacterias aerobias y coliformes totales.
- Evaluar el efecto que tiene el rociado con ácidos sobre las características de pH, temperatura y color.

4. REVISIÓN LITERARIA

4.1 Producto canal de cerdo

La carne de cerdo es una fuente rica en proteínas de alta calidad, que proporciona todos los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo humano (Lizcano *et al.*, 2020). Cabe destacar que es una excelente fuente de vitaminas del complejo B, especialmente vitamina B12, y minerales como el hierro, el zinc y el fósforo (PIC, 2016).

Estos nutrientes desempeñan un papel crucial en funciones metabólicas, la salud ósea y la función cognitiva.

La producción de carne de cerdo desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria, especialmente en regiones donde otras fuentes de proteínas son escasas o costosas. Investigaciones han demostrado que la carne de cerdo es una fuente accesible y asequible de proteínas para comunidades de bajos recursos (INTERPORC, 2015). Su producción eficiente y su capacidad para adaptarse a una variedad de entornos hacen que sea una opción viable para garantizar la disponibilidad de alimentos en todo el mundo. A nivel internacional, la producción de cerdo es una industria en constante evolución, con países como China, Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil a la vanguardia. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), China es el principal productor de cerdo a nivel mundial, seguido de cerca por la Unión Europea y Estados Unidos (FAO 2023).

El primer lugar del ranking mundial de los productores de carne de cerdo en 2024 estaría ocupado nuevamente por China, con una participación del 48.4% dentro del total general (115.5 Mt.) y con una producción que alcanzaría 55.9 Mt., lo que representaría un decrecimiento de 1.0% en comparación a 2023 (56.5 Mt). En segundo lugar, tendríamos a la Unión Europea, con una participación de 18.3% y un nivel de producción que alcanzaría 21.2 Millones de toneladas (Mt.), refiriendo una disminución de 1.6% frente a 2023, mientras que Estados Unidos ocuparía el tercer lugar, participando con el 11.0%, con una producción que se ubicaría en 12.7 Mt. con aumento de un 2.2% en comparación al año anterior. Los países líderes de Latinoamérica, Brasil y México, ocuparían los puestos 4 y 8 respectivamente, con producciones que llegarán a los 4.8 y 1.6 Mt, (Figura 1).

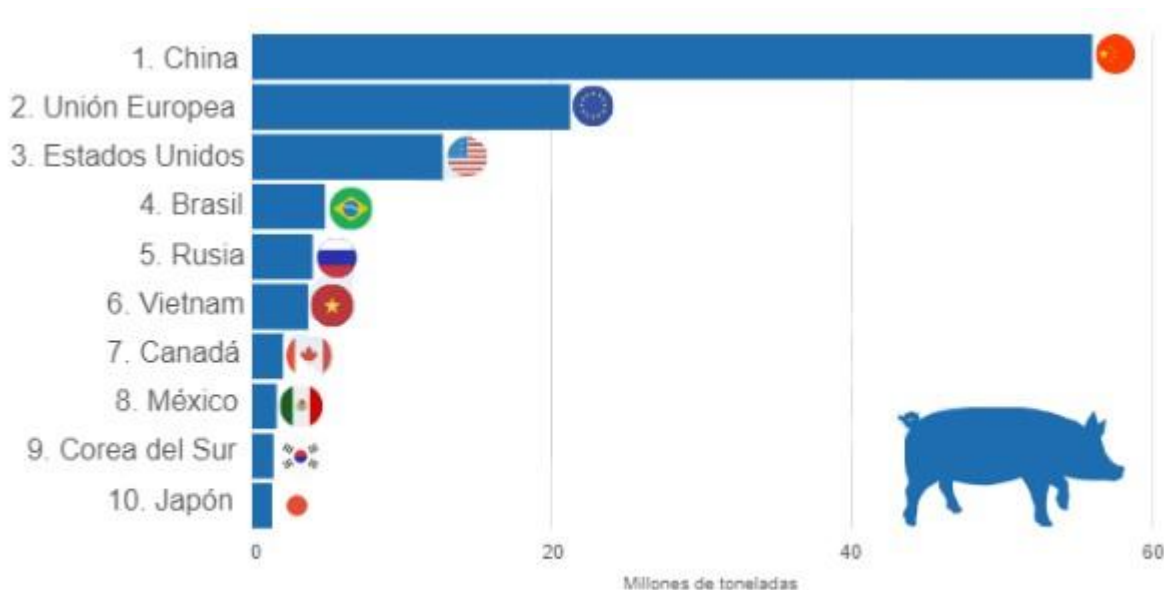


Figura 1. Principales productores mundiales de carne de cerdo en el año 2024. (FAS–USDA 2024).

El consumo de productos cárnicos a nivel mundial es bastante alto, por ser incluido en las dietas de los seres humanos en el día a día, siendo la carne de cerdo la más consumida por su aporte nutricional (Jiménez 2014). En México, su consumo sigue en aumento a medida que pasan los años, así como el aumento de su consumo per cápita en comparación a otros tipos de carne como lo muestran en la Figura 2 y en la Figura 3.



Figura 2. Consumo aparente (millones de toneladas) de carne de cerdo en México durante el periodo 2013-2020 (Elaboración con datos de SIAP-SADER, SIAVI-Secretaría de Economía, Números del Campo y Expectativas Agroalimentarias, 2020).

Según investigaciones recientes, el consumo per cápita de carne de cerdo en México ha experimentado una evolución notable en las últimas décadas. Un análisis realizado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) reveló que el consumo per cápita de carne de cerdo en México en 2010 aproximadamente 14.5 kg por persona y aumentó a más de 17 kg por persona en 2019 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) como se observa la figura 3.

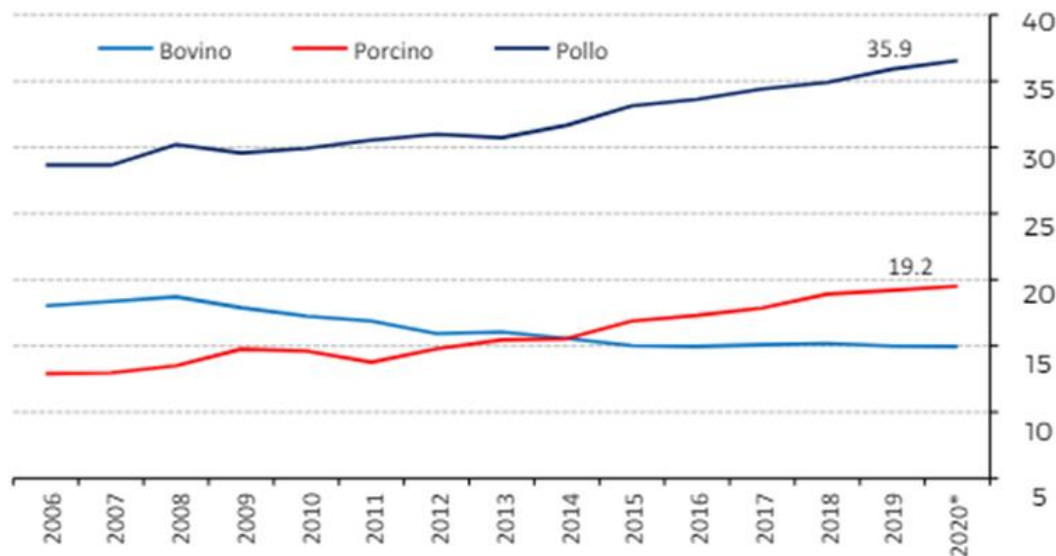


Figura 3. Consumo per cápita de carne en México, 2006-2020 Kg por persona, por año. (Elaborado por FIRA (2020), con información de USDA, INEGI y CONAPO).

Además de su contribución a la nutrición, la producción de carne de cerdo también tiene un impacto significativo en la economía. La industria porcina emplea a millones de personas en todo el mundo, desde pequeños agricultores hasta trabajadores en plantas de procesamiento (Zavala *et al.*, 2020). En la Figura 4 se observa que la producción de carne de porcino fue constante en el periodo de 2021 a 2023.

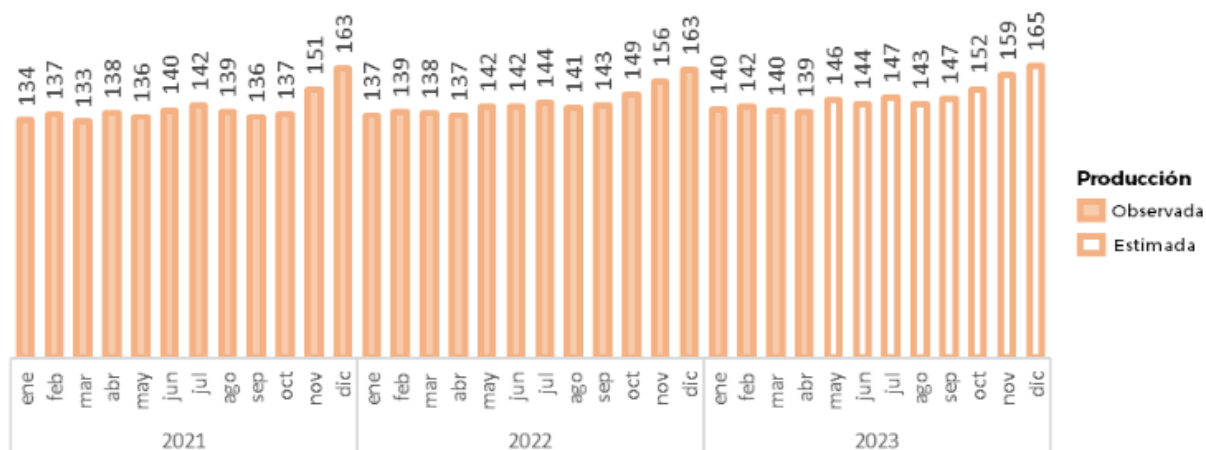


Figura 4. Producción mensual de carne de porcino de los años 2021 a 2023, en miles de toneladas (Escenario mensual de productos agroalimentarios Dirección de Análisis Estratégico SIAP).

Algo a destacar es que el comercio internacional de carne de cerdo genera ingresos para países exportadores y proporciona alimentos a mercados internacionales. México en específico es un país con grandes producciones de carne de cerdo (SIAP), es por ello que se ha desarrollado un importante crecimiento económico por medio de la importación y exportación (Figura 5)

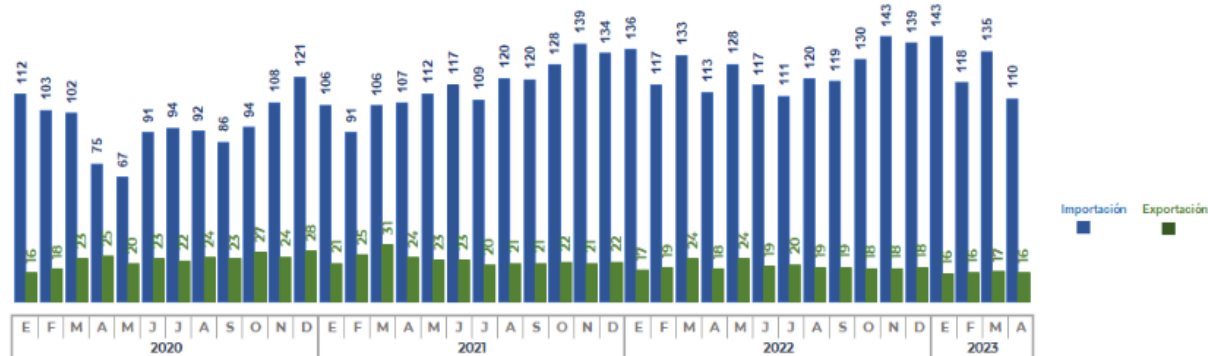


Figura 5 Evolución mensual de las importaciones y exportaciones mexicanas de carne de porcino 2020-2023 miles de toneladas (Escenario mensual de productos agroalimentarios Dirección de Análisis Estratégico SIAP).

Es por ello que el alto consumo del mismo requiere más demanda y a su vez mayor producción y el hecho de que aumente, llega a afectar en las distintas fases de producción, desde la primaria hasta que llega a su venta, generando problemas por diferentes causas, pero una de las más importantes es la contaminación en los productos por el gran impacto que tiene en la salud (Baer *et al.*, 2013). Para el año 2050, el consumo de carne de cerdo se perfila como un componente vital para abordar diversos aspectos económicos y de producción alimentaria a nivel global (Figura 6. Consumo de carne per cápita (expresado en peso al por menor). Fuente: OECD-FAO (2021).

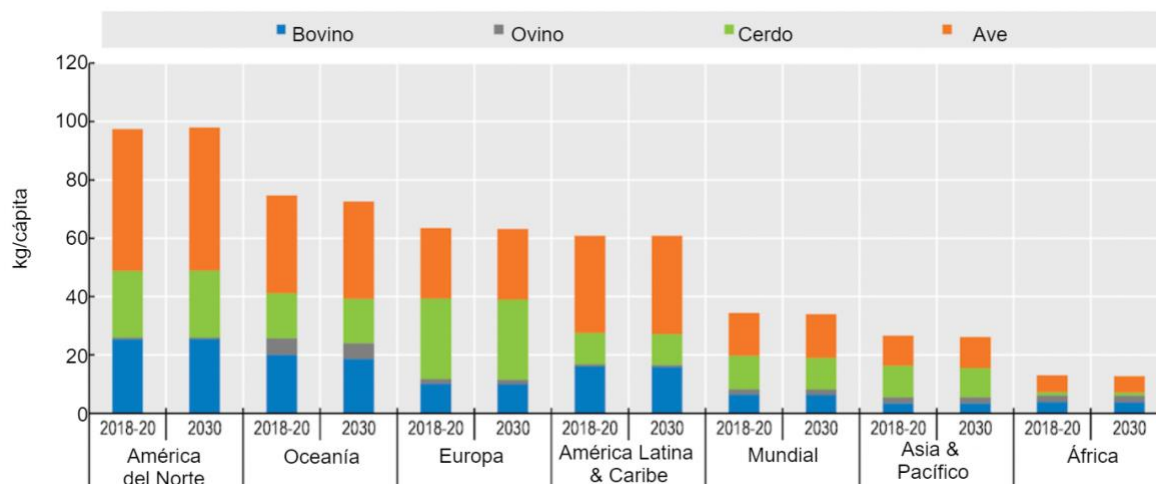


Figura 6. Consumo de carne per cápita (expresado en peso al por menor). Fuente: OECD-FAO (2021).

Estudios realizados por OECD-FAO (2020) destacan el potencial del sector porcino para impulsar el crecimiento económico en áreas rurales y urbanas a través de la generación de empleo, el desarrollo de infraestructuras y la dinamización de cadenas de valor relacionadas. Menciona que el aumento en la demanda de carne de cerdo, impulsado por el crecimiento poblacional y el aumento del poder adquisitivo en países en desarrollo, contribuye significativamente a la expansión de la economía mundial, y que desde 1967 la producción mundial de aves de corral ha aumentado un 700%, la carne de cerdo (290%), la carne ovina y caprina (200%), la de vacuno y de búfalo (180%) y la leche

(180%) donde se prevé un aumento del consumo de carne de casi el 73% para el año 2050. Para esto, se proyecta que la mejora continua en: la genética porcina, las prácticas de alimentación y el control de enfermedades, aumentarán la productividad y la competitividad del sector, permitiéndole satisfacer la creciente demanda de carne de cerdo de manera rentable y sostenible con respecto a las otras antes mencionadas (Aaslyng *et al.*, 2017).

Ahora bien, las proyecciones de su consumo tienden a ir de la mano con el proceso de la obtención del producto. La canal de cerdo se obtiene mediante un proceso convencional que comprende insensibilización eléctrica, exanguinación por sección de la yugular, escaldado, pelado, evisceración, remoción de patas y cabeza, y división longitudinal de la canal, por la columna vertebral, acorde a la NOM-033-ZOO-1995. La Figura 7 muestra el proceso para la obtención de la canal, desde la recepción del animal hasta la obtención del producto para su venta.

Siendo uno de los productos de mayor consumo se busca tener más calidad en el mismo, es por ello que se requiere el cumplimiento de algunos estándares, como lo es el bienestar animal (GOBMX, 2016). El Manejo que se les da a los animales desde fase de producción hasta la obtención de la canal debe de ser de acuerdo a la ley, ya que esto también implica un producto de calidad, ya que puede afectar directamente en su rendimiento (Álvarez *et al.*, 2010). El bienestar animal en el proceso de faena es una preocupación en la industria cárnica, así como para los consumidores conscientes de la ética animal. Garantizar condiciones humanas en cada etapa del proceso de sacrificio es fundamental, no solo para cumplir con estándares éticos, sino también para mejorar la calidad de los productos cárnicos y la reputación de la industria en su conjunto. Estudios han demostrado que el uso de métodos humanitarios de sacrificio, como la insensibilización previa al sacrificio, reduce el sufrimiento del animal y mejora la calidad de la carne resultante. La insensibilización adecuada, ya sea mediante métodos eléctricos, de gas o mecánicos, es esencial para garantizar un sacrificio sin dolor (Gonzalez *et al.*, 2014).

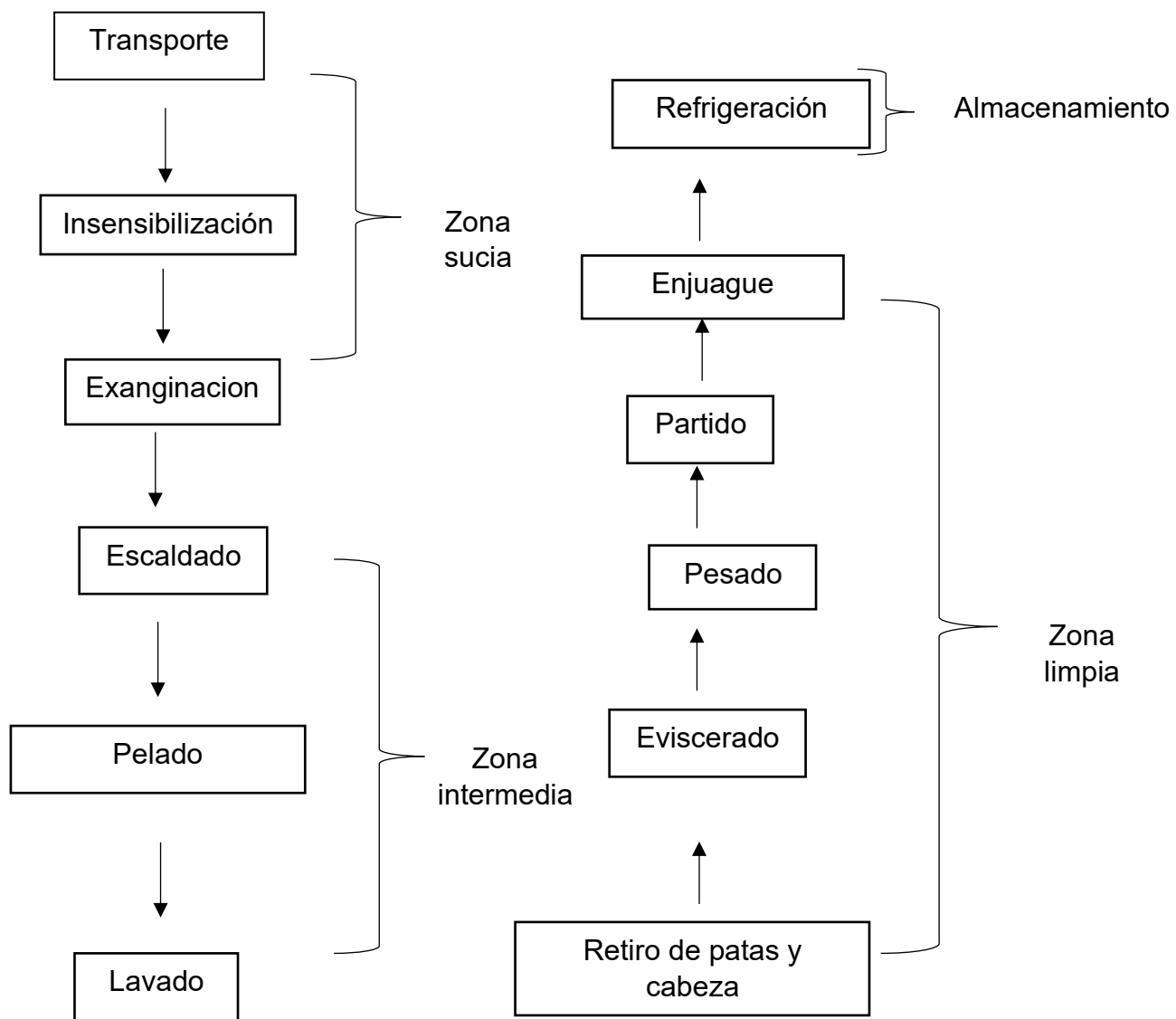


Figura 7. Diagrama de flujo de faenado de cerdos. (Elaborado a partir de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 Y NOM-194-SSA1-2004).

4.2 Microorganismos comunes y tipo de contaminación

Dentro de la industria cárnica existen diferentes tipos de contaminantes, los cuales pueden llegar a tener repercusiones para el consumidor del producto que será expuesto a venta. Esto nos indica que un contaminante es aquella presencia que se expresa en algún producto en específico y que esta misma pueda provocar daños en la salud al ser ingerida, por lo que es importante conocer los tipos de contaminantes que se pueden llegar a presentar en la industria cárnica (Kamala *et al.*, 2018).

Los tipos de contaminantes se clasifican en químicos (plaguicidas, medicamentos, herbicidas), físicos (pelos, plástico, vidrio) y biológicos (bacterias, hongos, virus, parásitos), pero dentro de los alimentos, y sobre todo en la fase de faena, se presentan con más frecuencia los contaminantes biológicos, y en específico las bacterias patógenas, mismas que son causantes de las llamadas Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), patógenos como *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Campylobacter* y *Listeria monocytogenes* son comúnmente encontrados en instalaciones de faena de animales (Baer *et al.*, 2013).

Estos microorganismos pueden contaminar la carne durante el proceso de faena y representar un riesgo para la salud pública si no se manejan adecuadamente. La faena de animales también puede contribuir a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos, debido al uso excesivo de antibióticos en la producción animal (Cabrera *et al.*, 2007). La presencia de bacterias resistentes a los antibióticos en la faena puede representar un riesgo para la salud de los trabajadores y contribuir a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos en la comunidad.

La exposición a virus puede causar enfermedades respiratorias y otras complicaciones de salud en los trabajadores. Existen parásitos como *Taenia saginata* (tenia del ganado) y *Toxoplasma gondii* que pueden estar presentes en el ganado y contaminar la carne durante la faena (Doyle *et al.*, 2014). La ingestión de carne contaminada con estos parásitos puede causar enfermedades parasitarias en los consumidores.

4.3 Productores de ETA

Las ETA suelen ser el resultado por malas prácticas pecuarias, ya que el llevar inspecciones sanitarias comúnmente resulta tener mayores complicaciones (Duffy *et al.*, 2006) al ser una zona expuesta a contaminación biológica en diferentes puntos, por ejemplo, contaminación cruzada por una inadecuada sanitización del material, lavado con agua contaminada, contaminación por contenido intestinal, entre otras (González *et al.*, 2016).

Los aerobios totales son microorganismos que pueden crecer en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno. Este grupo incluye una variedad de bacterias, tanto patógenas como no patógenas, y su presencia en productos cárnicos puede indicar una contaminación generalizada y un posible deterioro de la calidad de los alimentos.

Investigaciones han demostrado que los altos niveles de aerobios totales en productos cárnicos pueden estar asociados con una disminución de la frescura y la calidad sensorial de los alimentos, así como un mayor riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos debido a la posible presencia de patógenos (Havelaar *et al.*, 2010). Además, la proliferación de aerobios totales en productos cárnicos puede indicar una falta de control de la higiene durante la producción y manipulación de los alimentos. Las bacterias mesófilas, enterobacterias y coliformes son grupos distintivos y cada uno cuenta con características específicas y cumplen con roles biológicos distintos, las bacterias mesófilas son organismos que prosperan en condiciones moderadas de temperatura, pH y presión osmótica. Estas son ubicuas en el ambiente y se encuentran en una variedad de hábitats, incluyendo el suelo, el agua y los alimentos. Estas bacterias son importantes desde el punto de vista industrial y ambiental, ya que desempeñan funciones vitales en la descomposición de la materia orgánica y en la producción de alimentos fermentados. Además, algunas especies pueden ser patógenas para los seres humanos y otros organismos (Ercolini *et al.*, 2009).

En cambio las enterobacterias son un grupo de bacterias Gramnegativas que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. Estas bacterias son anaerobias facultativas, lo que

significa que pueden crecer en ausencia o presencia de oxígeno. Son comunes en el intestino de humanos y animales, y algunas especies son patógenas, causando enfermedades gastrointestinales y sistémicas. Las enterobacterias también juegan un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica en el suelo y en otros ciclos biogeoquímicos (Litterio *et al.*, 2010).

Las bacterias coliformes son un grupo de bacterias Gramnegativas que comparten características bioquímicas similares, como la fermentación de la lactosa con producción de gas. Estas bacterias pueden encontrarse en una variedad de alimentos, incluidos los productos cárnicos, y su presencia puede indicar un problema de higiene durante la producción, procesamiento o manipulación de los alimentos. Los coliformes en específico son un grupo bacteriano que es indicativo de contaminación fecal, siendo un punto de partida para determinar diferentes bacterias patógenas que pueden presentarse en la canal. Se asume que estos indicadores, así como la presencia de este grupo bacteriano, no asegura que esté contaminada por bacterias patógenas, sin embargo es recomendable el análisis de alimentos contaminados para mejorar la inocuidad de los mismos y descartar un problema mayor (Espinosa *et al.*, 2023).

Algunas bacterias como salmonela la mayoría de sus serotipos son patogénicos, y su principal vehículo es productos cárnicos de aves y cerdos. En la mayoría de los casos esta bacteria vive en el tracto digestivo de los animales durante su etapa de vida y llega a pasar desapercibida, por lo que puede llegar a la canal durante la faena por un mal procesamiento (Kopper *et al.*, 2014). Por otro lado, *Escherichia coli* es una bacteria Gram negativa que forma parte de la microbiota intestinal de los animales. Aunque la mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, algunas pueden causar enfermedades graves, como infecciones del tracto urinario, gastroenteritis y enfermedades transmitidas por alimentos. Existen normas que son específicamente para la regulación de productos cárnicos y el control en el proceso de los mismos. La NOM-194-SSA1-2004 es aquella dirigida como especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio, así como también en especificaciones sanitarias de productos, que marca límites para bacterias patógenas, como *E. coli* y *Salmonella* sp. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Especificaciones sanitarias de productos cárnicos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004

Producto	<i>E. coli</i>* UFC/g Límite máximo	<i>Salmonella</i> en 25 g
Congelado	No aplica	Ausente
Refrigerado	1000	Ausente
Carne molida refrigerada	5000	Ausente
Envasado al vacío o en atmósfera modificada	No aplica	Ausente

* Como microorganismo indicador

UFC: Unidad formadora de colonia

De la misma manera existe normativa para regular los cárnicos, donde no solamente se limita la presencia de bacterias sino que también se hace mención de parásitos. La NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, productos y servicios, indica las especificaciones sanitarias y los métodos de prueba (Cuadro 2).

Cuadro 2. Límites máximos para microorganismos y parásitos en productos cárnicos por la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002

Producto	Mesófilos aerobios (UFC/g)	Coliformes fecales (NMP/g)	<i>Salmonella</i> spp en 25 g	<i>Trichinella spiralis</i>	Cisticercos
Cocidos	10,000 ¹ 60,000 ²	< 3	Ausente	N.A.	N.A.
Crudos	N.A.	N.A.	Ausente	Ausente ³	N.A.
Curados	N.A.	< 3	Ausente	N.A.	N.A.
Marinados o en salmuera	N.A.	< 3	Ausente	N.A.	N.A.
Fritos	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ausente

UFC: Unidad formadora de colonia

NMP: Número más probable

1 = en planta, 2 = en punto de venta, 3 = no aplica a madurados crudos, N.A. = No aplica

Por otra parte, la NOM-213-SSA1-2018, se dirige específicamente para productos y servicios, así como productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Esta norma se basa para establecer un criterio en cuanto a los distintos tipos de microorganismos, tantos aerobios totales, así como bacterias patógenas más susceptibles en la contaminación de productos cárnicos (Cuadro 3). Cabe mencionar que la diferencia con la versión de 2002 no hace referencia a parásitos.

Cuadro 3. Criterios microbiológicos para productos cárnicos de acuerdo a la NOM-213-SSA1-2018.

Productos	Tipo de Microorganismos	Criterio microbiológico			
		n	c	m	M
Productos cárnicos cocidos listos para el consumo. y crudos listos para el consumo	Mesófilos aerobios*	5	3	100 UFC/g	10000 UFC/g
	<i>Escherichia coli</i>	5	3	<3 NMP/g	<10 NMP/g
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	Ausente en 25g	-
	<i>Salmonella</i> spp	5	0	Ausente en 25g	-
Productos cárnicos precocidos y crudos no listos para el consumo	<i>Escherichia coli</i> **	5	3	500 UFC/g	5000 UFC/g
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7***,1	5	0	Ausente en 25g	-

UFC: Unidades formadoras de colonia

NMP: Número más probable

* Se determinan en el establecimiento de producción o elaboración. Solamente para productos cárnicos cocidos

** Sólo para productos cárnicos precocidos

***Sólo para productos elaborados con carne de bovino.

1 Determinado por un método rápido disponible en el mercado.

n: número de muestras a ser analizadas

c: máximo número admisible de unidades de muestras defectuosas en un plan de dos clases, o de unidades de muestras marginalmente aceptables en un plan de tres clases

m: un límite microbiológico que separa la buena calidad de la calidad defectuosa en un plan de dos clases o la buena calidad de la calidad marginalmente aceptable en un plan de tres clases

M: un límite microbiológico que separa, en un plan de tres clases, la calidad marginalmente aceptable de la defectuosa

Cabe mencionar que la observancia de *E. coli* no corresponde a que sea una bacteria patógena sino que se considera como un indicador de contaminación fecal. Sin embargo existen serotipos que son considerados patógenos peligrosos. Es por eso que la identificación precisa es crucial para el diagnóstico de infecciones bacterianas y para el control de enfermedades transmitidas por alimentos. Los métodos de identificación comunes incluyen pruebas bioquímicas, técnicas moleculares y métodos de cultivo selectivo. Las pruebas bioquímicas, como la prueba de la producción de indol y la prueba de la fermentación de la lactosa, pueden distinguir *E. coli* de otras bacterias entéricas. Las técnicas moleculares, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), permiten la detección rápida y específica de genes específicos de *E. coli*. (Barros *et al.*, 2023). Esta bacteria se clasifica en diferentes serotipos basados en la composición antigénica de su superficie celular. Uno de los serotipos más conocidos es *E. coli* O157:H7, que es una causa común de intoxicación alimentaria y puede producir toxinas peligrosas provocando la llamada diarrea sanguinolenta que la hace su característica en específico. Por lo tanto, la vigilancia epidemiológica de *E. coli* es fundamental para detectar brotes de enfermedades y prevenir la propagación de cepas patógenas. Los programas de monitoreo de alimentos y agua, junto con prácticas de higiene adecuadas en la producción y manipulación de alimentos, son cruciales para reducir el riesgo de infecciones por *E. coli* y proteger la salud pública (Feng 2015). Es importante mencionar que existen serotipos clasificados por sus distintas características, por ejemplo:

Escherichia coli Enterohemorrágica (EHEC). Este subtipo es conocido por su capacidad de producir toxinas, como la toxina Shiga, que puede causar enfermedades graves como síndrome urémico hemolítico (SUH). Investigaciones recientes han identificado múltiples cepas de EHEC, cada una con diferentes perfiles de virulencia y capacidad para causar enfermedades (Karch *et al.*, 2005). *E. coli* Enteropatógena (EPEC) son responsables de enfermedades diarreicas en humanos, especialmente en niños pequeños y en países en desarrollo. Estas bacterias tienen la capacidad de adherirse y colonizar la mucosa intestinal, lo que lleva a la destrucción de las microvellosidades y a la formación de lesiones características en la superficie celular (Nataro & Kaper, 1998).

E. coli Enterotoxigénica (ETEC) son un importante agente causante de diarrea en todo el mundo, especialmente en áreas donde las condiciones sanitarias son deficientes. Estas cepas producen toxinas termoestables y termolábiles que inducen la secreción de líquidos y electrolitos en el intestino delgado, lo que resulta en diarrea acuosa (Ríos *et al.*, 2019). *E. coli* Enteroagregativa (EAEC) es conocida por su capacidad de adherirse a las células epiteliales intestinales y formar agregados bacterianos en la superficie celular. Esta capacidad de adherencia está asociada con la formación de biofilms en el intestino, lo que puede causar enfermedades persistentes, especialmente en poblaciones vulnerables (Nataro *et al.*, 1995). *E. coli* Enteroinvasiva (EIEC) es similar a *Shigella*, las cepas de EIEC tienen la capacidad de invadir las células epiteliales del intestino y causar lesiones inflamatorias. Estas bacterias comparten mecanismos de invasión con *Shigella*, lo que sugiere una evolución convergente para explotar nichos similares en el intestino humano (Villalobos 2010). *E. coli* refleja su capacidad para adaptarse a una variedad de características ecológicas, así como su capacidad para causar una gran variedad de enfermedades en los seres humanos principalmente. A causa de tan importante bacteria, cada año se realizan diferentes estudios de la misma con sus diferentes cepas ya que es fundamental para comprender su epidemiología, patogénesis y el desarrollo de estrategias efectivas de prevención y tratamiento (Souza *et al.*, 2001).

4.4 Inocuidad y contaminación durante faena

La inocuidad en la producción de carne es un aspecto crítico para garantizar la salud pública y la calidad de los productos cárnicos. La contaminación puede ocurrir a través de diversos medios y puede estar asociada con la presencia de bacterias comunes que representan riesgos para la seguridad alimentaria y la salud pública:

- Superficies de trabajo: las superficies de trabajo, incluidas las mesas de corte y los utensilios, pueden ser fuentes de contaminación si no se limpian y desinfectan adecuadamente entre lotes de animales.
- Equipos y maquinaria: Equipos como sierras, cuchillos y cortadoras pueden acumular restos de tejido animal y ser vectores de contaminación si no se limpian y desinfectan correctamente.

- Agua de Lavado: el agua utilizada para lavar carcasas y equipos puede contener microorganismos patógenos si no se maneja adecuadamente, lo que puede conducir a la contaminación cruzada.
- Manipuladores y trabajadores: los manipuladores y trabajadores que no practican una higiene adecuada pueden transferir microorganismos patógenos a la carne durante el proceso de faena (Panea *et al.*, 2018).

Es importante el considerar estas áreas dentro de un proceso de producción para la obtención de un producto de calidad principalmente la higiene, ya que la inocuidad en la producción de carne comienza en la granja, donde se deben implementar prácticas de manejo adecuadas, como la higiene del personal, el control de enfermedades de los animales y el manejo adecuado de los residuos animales (SAGARPA 2019). Es por ello que existe un área en específico que nos ayudan a mantener al margen los estándares de calidad del producto dentro de la producción que es el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP). El plan HACCP es un sistema de gestión de seguridad alimentaria que identifica, evalúa y controla los peligros significativos para la inocuidad de los alimentos. Dentro de un plan HACCP, se siguen varios procedimientos clave para garantizar la seguridad de los productos alimenticios desde la producción hasta el consumo final (Mortimore & Wallace 2013).

La implementación de un sistema HACCP permite identificar, evaluar y controlar los peligros significativos para la inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena de producción, desde la granja hasta el consumidor final (Feng 2015). Una vez recurrido al uso de prácticas de producción adecuadas, el control de peligros y el uso de tecnologías de procesamiento avanzadas serán fundamentales para abordar los problemas asociados y obtener mejores resultados para productos inocuos.

Las BPM se caracterizan por un enfoque holístico e inclusivo que busca mejorar la eficiencia de la producción, respetando el medio ambiente, mejorando la calidad e inocuidad formando parte fundamental del plan HACCP basándose en las instalaciones de procesamiento del producto con seguimiento estricto para prevenir la contaminación cruzada, mantener la higiene del equipo e instalaciones y asegurar el adecuado control de temperatura y tiempo durante el procesamiento (Koutsoumanis *et al.*, 2023). Los

Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES) son componentes críticos dentro del plan HACCP, es por ello que estos se integran al proporcionar medidas preventivas para abordar los peligros identificados en cada etapa del proceso de producción de alimentos (Rojas 2018).

4.5 Efecto antimicrobiano de los ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos tienen fuentes diversas para el acceso a la célula bacteriana con lo cual pudiera provocar un efecto bacteriostático. Se consideran dos vías principalmente para su efecto que son por medio de la acidificación del citoplasma bacteriano y la acumulación del mismo dentro de la célula (Lambert *et al.*, 1999) El ácido se difunde a través de la membrana cuando el pH del citoplasma es más alto que del ambiente circulante en ella, por lo que requiere un mayor gasto de energía para mantener el pH dentro de la misma, por lo que se tendrá un transporte de protones para su mantenimiento. Dicho transporte tendrá como consecuencia una membrana más permeable haciendo que el ácido la penetre y tenga funciones como intercalación o quelación, que a su vez pueden verse afectadas distintas partes, por ejemplo el modificar la funcionalidad de enzimas, el ADN y proteínas estructurales (Figura 8).

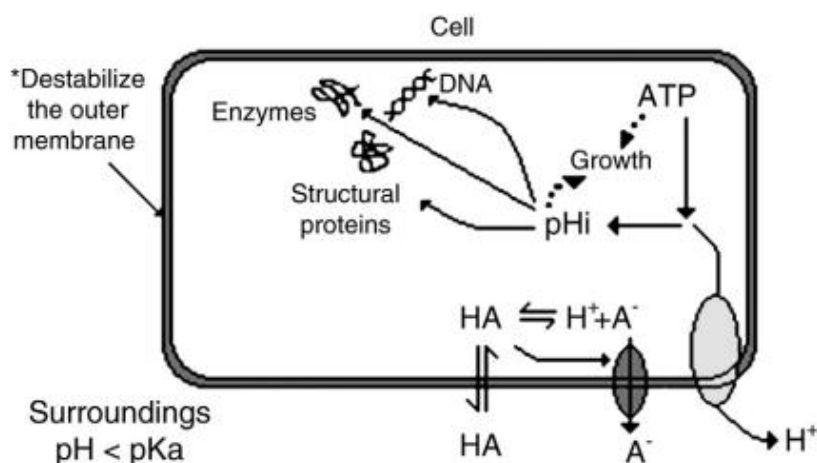


Figura 8: Mecanismo de acción de los ácidos orgánicos en la célula bacteriana (López *et al.*, 2012.)

Otros de los mecanismos de acción como: Disrupción de la Homeostasis del pH, uno de los mecanismos fundamentales mediante los cuales los ácidos orgánicos actúan en la célula bacteriana es mediante la disrupción de la homeostasis del pH intracelular. Estos compuestos, al penetrar la membrana celular, liberan protones en el medio intracelular, reduciendo el pH y alterando las funciones metabólicas esenciales para la supervivencia bacteriana (Brul & Coote, 1999). Desestabilización de la membrana celular: se ha demostrado que los ácidos orgánicos, como el ácido láctico y el ácido acético comúnmente más usados, tienen la capacidad de desestabilizar la membrana celular bacteriana. Este proceso implica la disrupción de la estructura lipídica de la membrana, lo que conduce a la pérdida de integridad y permeabilidad, y eventualmente a la lisis celular (Russell & Gould, 2003). Inducción de estrés oxidativo: algunos ácidos orgánicos, como el ácido ascórbico, pueden generar especies reactivas de oxígeno dentro de la célula bacteriana, induciendo estrés oxidativo y daño oxidativo a componentes celulares críticos, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Tajkarimi *et al.*, 2011).

4.6 Efecto del ácido en la canal

Los ácidos orgánicos son comúnmente usados en la industria de productos para consumo humano. Esto al ser una medida inocua eficaz, barata y de sencilla aplicación (Smulders 1998). La industria cárnica tiene un crecimiento a medida que pasa el tiempo, por lo tanto, el uso de estos juega un papel importante como medida inocua.

4.6.1 Antecedentes de su uso

Su uso es considerado inocuo, así como también la cantidad de ingesta al no ser limitada, por lo que no hay repercusiones al ingerirse, ya que su degradación en las pequeñas concentraciones que se usa pueden ser metabolizados por distintos ciclos dentro del organismo. Es por ello que estos son considerados una sustancia GRAS (por sus siglas en ingles *Generally Recognized As Safe*) como un aditivo analizado mediante procedimientos científicos que se puede usar de forma segura en el proceso para la obtención del producto alimenticio designado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, 2017).

Los ácidos orgánicos, como el ácido láctico, el ácido acético y el ácido cítrico, han demostrado actividad antimicrobiana contra una variedad de patógenos alimentarios, incluidos *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Ojeda *et al.*, 2009).

4.6.2 En la faena

El uso de ácidos orgánicos es utilizado dentro del proceso de faena en distintas especies, Van Ba *et al.*, (2018) realizaron un trabajo para disminuir la contaminación cruzada con ácido acético y láctico al 3% en dos diferentes etapas de producción en bovinos de carne, para determinar valores logarítmicos de aerobios totales. La primera se realizó asperjando los tratamientos en animales vivos y la segunda en canal antes de ser refrigerada donde en ambos casos se obtuvo una disminución logarítmica de bacterias en comparación con el tratamiento control. Aynewa, *et al.*, (2021) utilizaron ácido cítrico en porcentaje de 2.5 para observar el comportamiento microbiológico donde se presentó un efecto bacteriostático. Por otra parte Ciríaco *et al.*, (2020) obtuvieron resultados en el uso de ácido láctico en concentraciones de 2 y 5% en canales porcinas, por lo que se observó una reducción de coliformes. Es por eso que su uso es considerado como efecto bacteriostático, sin embargo Nkosi *et al.*, (2021) mencionan que esta práctica no se debe de usar como un método correctivo como sustituto de las buenas prácticas pecuarias, por lo que su uso debe de ser de manera medida y aplicada en determinadas ocasiones.

4.6.3 Calidad del producto

La aplicación de ácidos orgánicos en carne no solo ayuda a controlar el crecimiento microbiano, sino que también contribuye a mejorar la seguridad alimentaria al reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos. Estudios han demostrado que el lavado superficial de carne con soluciones que contienen ácidos orgánicos puede reducir significativamente la carga microbiana superficial, lo que resulta en una carne más segura para el consumo humano (Park *et al.*, 2011). Además de sus propiedades antimicrobianas, los ácidos orgánicos también pueden actuar como antioxidantes,

retrasando la oxidación lipídica y la rancidez en la carne. La aplicación de recubrimientos comestibles y soluciones de inmersión conteniendo ácidos orgánicos ha demostrado ser efectiva para prolongar la vida útil de los alimentos, manteniendo su calidad sensorial y nutricional durante períodos de almacenamiento prolongados (Escobar *et al.*, 2014).

A pesar que se tiene bastante información con el uso de los ácidos orgánicos y el efecto bacterio-reductor que genera, se cuenta con muy pocos trabajos acerca del efecto sensorial que genera en las características organolépticas como pH, color, sabor, capacidad de retención de agua, entre otras. Anderson *et al.*, (1990) utilizaron una mezcla de ácido láctico, cítrico, ascórbico y acético como tratamientos en carne de res teniendo resultados significativos en la reducción bacteriana, sin embargo, Theron & Lues (2007) menciona que el utilizar porcentajes altos en productos cárnicos puede tener un impacto en las características organolépticas y de calidad, esto puede variar de diferentes factores como el tipo de carne, la temperatura, la humedad, manejo de soluciones, porcentaje en su uso, entre otras.

Estudios han demostrado que el tratamiento con ácido láctico puede reducir significativamente la carga microbiana en la piel de cerdo, ayudando a prevenir la contaminación y el deterioro microbiológico (Skřivanová *et al.*, 2006). Aunque es limitada la información acerca del efecto en la piel de cerdo, estudios mencionan que la aplicación de ácidos orgánicos también puede tener impacto en la piel como medida inocua y llegar a generar cambios en las características de sensoriales como se ha visto específicamente en res (Van Ba *et al.*, 2018).

Algo para destacar en cuanto al efecto que puede tener el uso de los ácidos orgánicos en productos frescos es que su implementación puede tener mayormente beneficios usando dosis correctas, ya que pueden contribuir a la conservación y la extensión de la vida útil de la piel de cerdo. El tratamiento con ácido acético, por ejemplo, ha demostrado ser efectivo para inhibir el crecimiento de microorganismos y retrasar el deterioro en los productos durante su periodo de almacenamiento en frío (Allende *et al.*, 2009).

Durante el proceso de rociado de ácidos orgánicos sobre la canal en la faena, se produce una serie de cambios en el metabolismo de los ácidos orgánicos en la carne. Estos cambios pueden estar relacionados con la actividad enzimática, la fermentación microbiana y la degradación de tejidos musculares. Por ejemplo, la actividad de enzimas como la ATPasa y la creatina quinasa puede influir en la concentración de ácido láctico en la carne post-mortem. Además, la fermentación microbiana puede generar ácidos orgánicos como el ácido acético, el ácido láctico y el ácido propiónico, que puede generar cambios en el sabor y la calidad de la carne cuando se usan concentraciones muy altas (Wang *et al.*, 2016). El uso de ácidos orgánicos en carne representa una estrategia prometedora para mejorar la inocuidad alimentaria, prolongar la vida útil y mantener la calidad de los productos cárnicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta las regulaciones y dosificaciones apropiadas para garantizar su efectividad y seguridad en la industria alimentaria.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali Baja California, México.

5.2 Obtención de medias canales

Las medias canales se obtuvieron por métodos convencionales y acorde a la NOM-033-ZOO-1995, que comprende: insensibilización eléctrica, exanguinación por sección de la yugular, escaldado, pelado, evisceración, remoción de patas y cabeza, y división longitudinal de la canal por la columna vertebral en el taller de carnes del Instituto. Cada media canal se consideró como una unidad experimental. La aplicación de los tratamientos se realizó una vez por matanza y se repitió hasta alcanzar siete observaciones para cada tratamiento. Para el muestreo y la aplicación de tratamientos se consideró media canal, dividida longitudinalmente por la espina dorsal, se tomó media canal como testigo y la restante para aplicar uno de dos tratamientos. Posteriormente para la obtención de las muestras se delimitó un área de los cuartos traseros, y se removió una superficie de 10 cm² aproximadamente de 2 g con ayuda de un bisturí, antes

y diez minutos (tiempo 1 de muestreo) después del rociado con ácidos orgánicos y se colocaron en cajas petri estériles para su transporte. Posteriormente, para evaluar si existe un efecto residual se realizó un muestreo a las 24 h (tiempo 2 de muestreo). El rociado consistió en la atomización de las diferentes concentraciones de ácidos orgánicos (2 y 5%) en la superficie de la media canal. Posteriormente se trasladaron las muestras de carne, estos fueron transportados de inmediato y de manera higiénica, a una temperatura no superior a los 6°C en una hielera al laboratorio de microbiología en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali Baja California, México.

5.3 Tratamientos

Se utilizaron ácido acético glacial (ICR) y ácido cítrico (J.T. Baker) grado analítico, los cuales se diluyeron con agua destilada estéril en porcentajes de testigo (0), 2 y 5%.

Las muestras se dividieron en grupos con un tratamiento para cada canal y un porcentaje para cada media canal:

- Tratado con ácido acético, (Testigo 2% y 2%)
- Tratados con ácido acético, (Testigo 5% y 5%)
- Tratado con ácido cítrico, (Testigo 2% y 2%)
- Tratados con ácido cítrico, (Testigo 5% y 5%)

5.4 Análisis microbiológico de las muestras

Se realizó conteo en placa mediante diluciones seriadas (1-5) utilizando solución de peptona. Posteriormente se tomó 0.1 ml de cada dilución y se esparció en la placa, por duplicado, y se incubó a 37 °C por 48 h. Una vez concluido esto, se contaron las colonias observadas en aquellas placas donde se observaron de 30 a 300 colonias. Con base en los conteos se calculó las unidades formadoras de colonias y se expresaron en escala logarítmica en base 10 ($\log_{10}$ UFC g⁻¹). La preparación y dilución de las muestras para su análisis se realizó de acuerdo a los lineamientos de la NOM-109-SSA1-1994 y la NOM-110-SSA1-1994.

5.5 Recuento de bacterias mesófilas aerobias totales y coliformes de las muestras

Se realizó conforme a la NOM-092-SSA1-1994. Los medios de cultivo utilizados (MCD LAB) para realizar los conteos por vaciado en placa por duplicado, fueron agar Eosina y Azul de Metileno (EMB) y agar Métodos Estándar (ME).

5.6 Color de las muestras

El color de las muestras se determinó por medio de un colorímetro portátil con sensor CM600, obteniendo los valores tri estímulo (L^* , a^* y b^*) de acuerdo al sistema CIE LAB, donde L: representa la luminosidad, valor a: que define al componente verde-rojo y valor b: representa el eje amarillo-azul. El muestreo se realizó cerca del área del cuarto trasero, por triplicado en ambos tiempos de muestreo (10 min y 24 h).

5.7 pH de las muestras

El pH muscular se determinó con la ayuda de un potenciómetro portátil con electrodo de punción de la marca Yewhick modelo YY-1030, a 2 cm de profundidad del músculo del cuarto trasero cercano al área de muestreo. Los tiempos de toma de muestra fueron antes de la aplicación, 10 min después y 24 h después de la aplicación de los tratamientos.

5.8 Temperatura y humedad de la canal y del medio

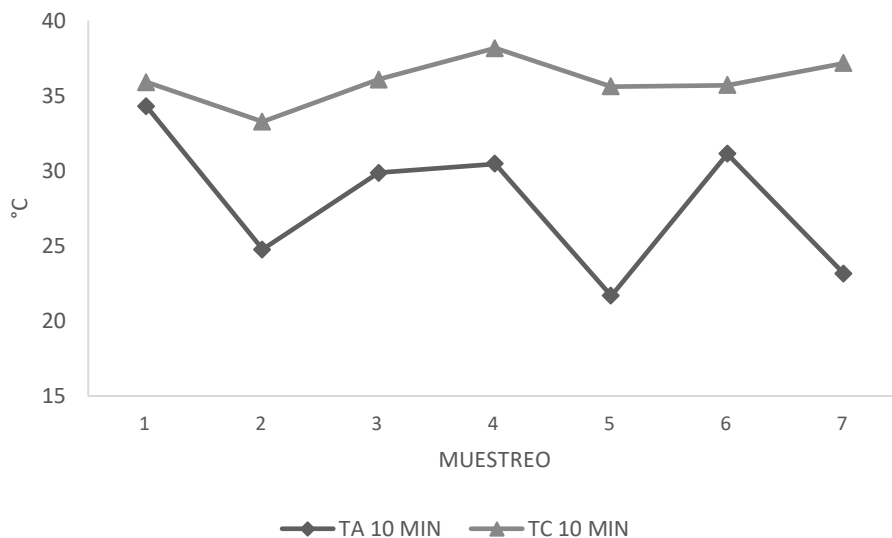
La temperatura de la canal se tomó con un registrador de temperatura con sonda de punción de acero inoxidable Elitech RC-4HC, a 4 cm de profundidad, en el cuarto trasero cercano al área de muestreo. Las mediciones se realizaron cada 10 minutos por 24 h. De la misma manera, se mantuvo el registro de la temperatura y humedad del medio con un termómetro testo 174 H en los mismos intervalos de tiempo.

5.9 Análisis estadístico

Se consideró un modelo completamente aleatorizado. Las variables obtenidas en el estudio se analizaron mediante los procedimientos Proc GENMOD para las UFC y Proc GLM para variables continuas y una prueba de medias con contrastes. Se realizó comparación de medias por medio de Tukey. Las diferencias se considerarán significativas cuando $P < 0.05$. El paquete estadístico utilizado fue SAS 9.4.

6. RESULTADOS

Las medidas de temperatura ambiental y de la canal en los diferentes muestreos se observan en la Figura 9. Se observó que la temperatura ambiental se mantuvo en un rango entre los 20 y los 35 °C, así como la temperatura de la canal estuvo en un rango de 35 a 40 °C para el primer tiempo de muestreo (10 minutos).

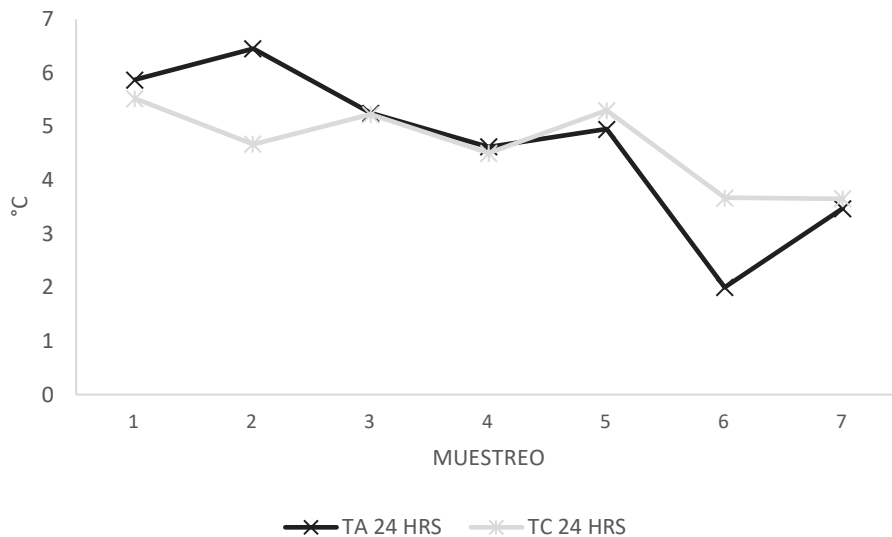


TA: Temperatura ambiental

TC: Temperatura de la canal

Figura 9. Comportamiento de la temperatura (10 minutos) ambiental (línea con rombos) y de la canal (línea con triángulos) durante los muestreos.

Para el segundo tiempo de muestreo (24 h) tanto la temperatura de la canal como la temperatura de refrigeración rondó entre los 2 a 6 ° C (Figura 10).



TA: Temperatura ambiental

TC: Temperatura de la canal

Figura 10 Comportamiento de la temperatura (24 h) ambiental (línea con rombos) y de la canal (línea con triángulos) durante los muestreos.

La humedad relativa se comportó distinta a los 10 minutos en cuanto a los muestreo que se realizaron, teniendo variaciones bajas como 30% y altas que alcanzo hasta el 70%, caso contrario al porcentaje que se manejó en los muestreos de 24 horas, ya que se mantuvo entre 80 y 85% de humedad (Figura 11). Esto se debe principalmente a que en el tiempo 1 la canal se encontraba en la sala de matanza mientras que en el tiempo 2 se encontraba en el cuarto frio en un espacio cerrado.

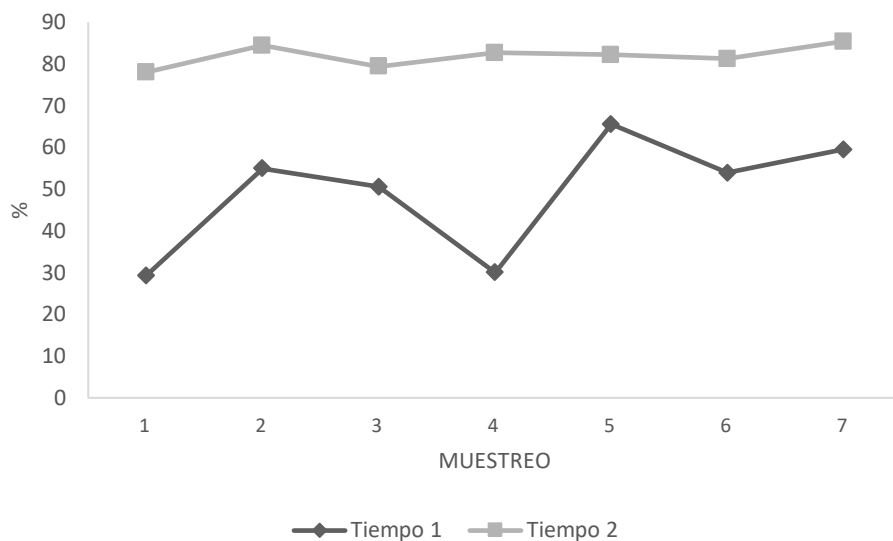
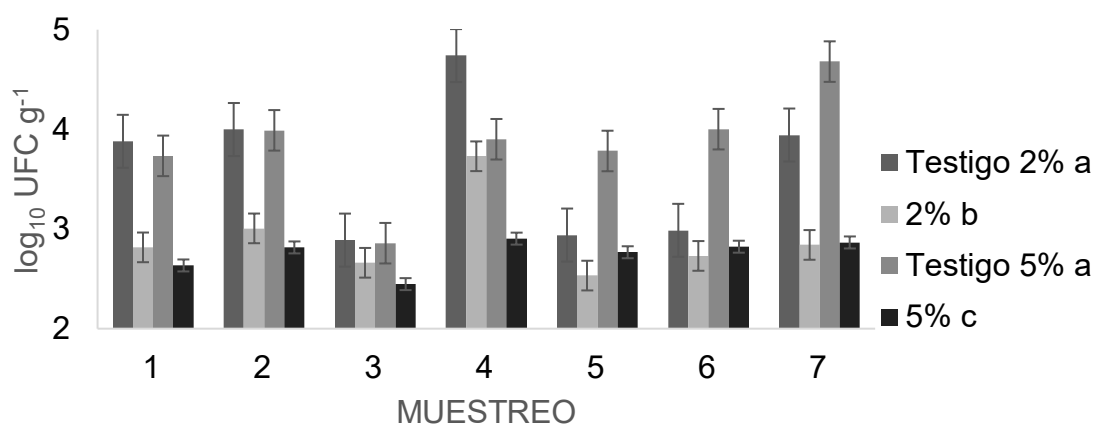


Figura 11. Comportamiento de la humedad relativa en los diferentes tiempos de muestreo Tiempo 1 (línea con rombos) y Tiempo 2 (línea con triángulos) en los siete muestreos.

En todos los tratamientos se encontró una reducción de UFC con respecto a sus controles. Así mismo el tratamiento de 5% tuvo un efecto mayor de 4 unidades logarítmicas como se muestra la Figura 12.



Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

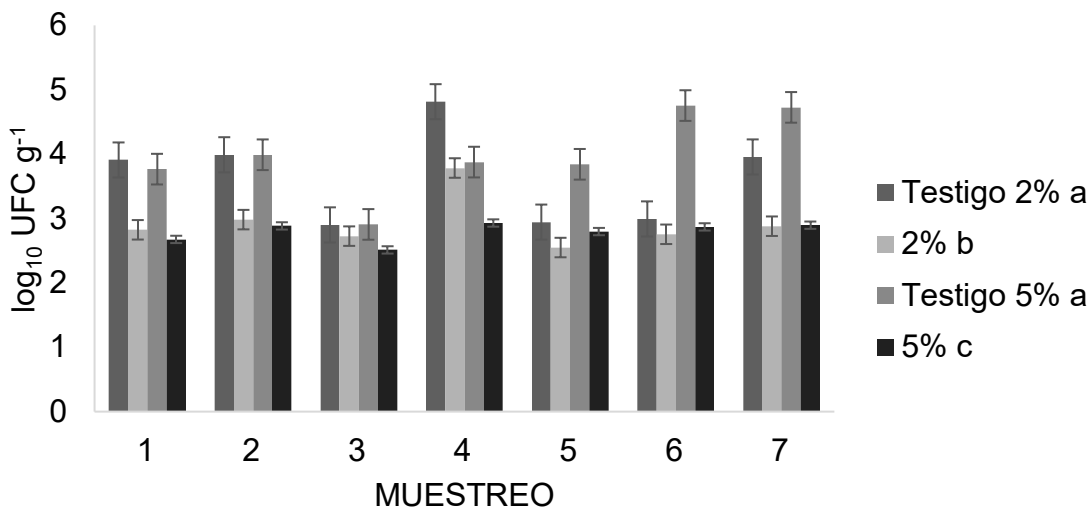
P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 12. Conteo de aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 1 (10 min.) en los siete muestreos.

De igual manera se observa una disminución de la UFC en el tiempo 2 de muestreo (24 h) en cuanto a mayor porcentaje de concentración en los tratamientos.

En la Figura 13 se observa que la mayor reducción ocurrió en el muestreo 6 y fue de aproximadamente de 1.5 $\log_{10}$ UFC g^{-1} . Además se puede destacar que en ambos tiempos de muestreo el número de UFC permaneció en 3 unidades logarítmicas.



Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

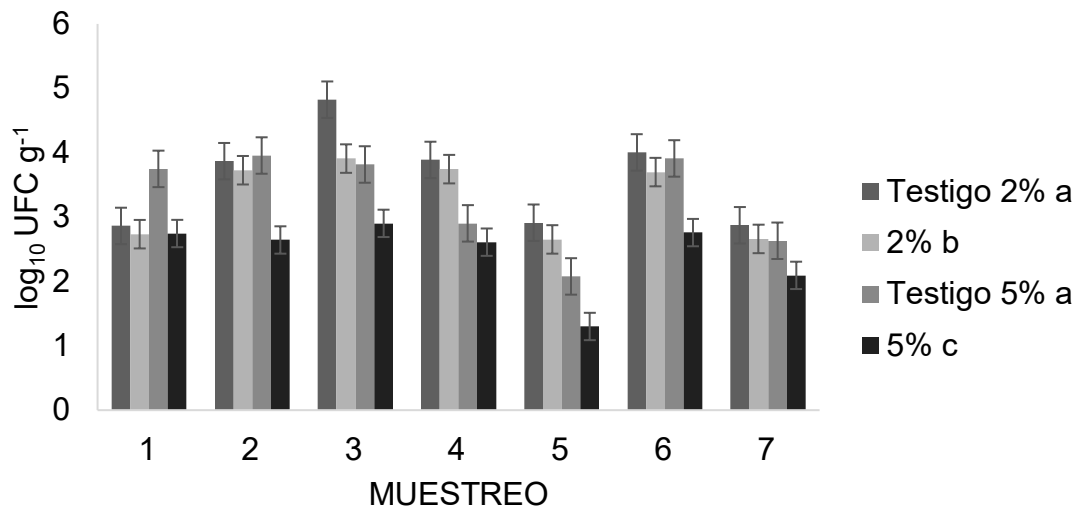
a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 13. Conteos de aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 2 (24 h.)

En el caso de los tratamientos con ácido cítrico se muestra una mayor reducción del número de UFC a medida que se aumenta la concentración.

Se observa en la Figura 14 que el tratamiento al 5% fue quien obtuvo la mayor reducción con respecto a su control, presentando en el muestreo 2 aproximadamente 1.5 unidades

logarítmicas. Sin embargo, el tratamiento al 2% presentó una disminución más limitada en comparación con su control a excepción del muestreo 3 con una unidad logarítmica.



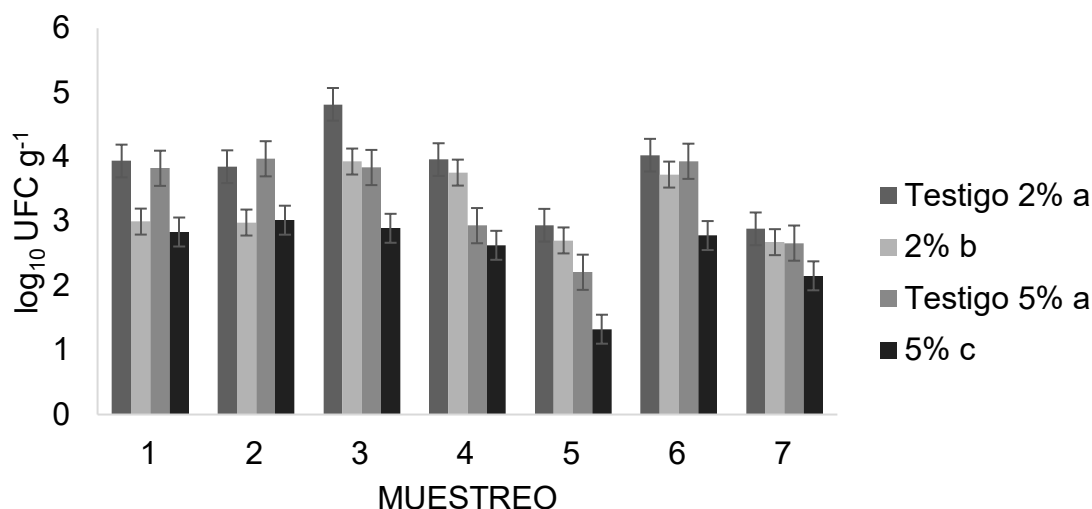
Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamiento:

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 14. Conteos aerobios totales (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 1 (10 min.)

El ácido cítrico no presentó una reducción activa de aerobios totales, sin embargo se observó que a las 24 h se mantuvo la población inicial en comparación al testigo donde se observa (Figura 15) un crecimiento de una unidad logarítmica. En comparación el tratamiento 5% fue mejor ya que mantuvo una reducción en la misma proporción en la mayoría de muestreos.



Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

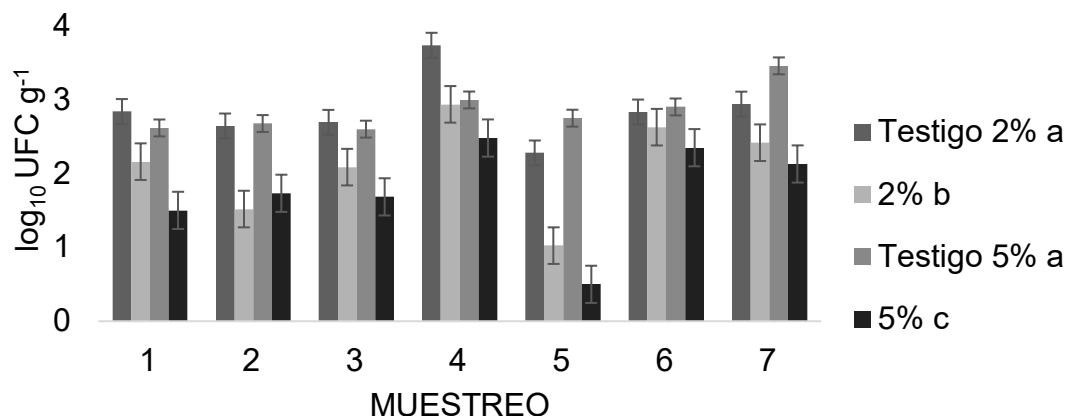
P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 15. Unidades formadoras de colonias (log UFC) de aerobios totales de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 2 (24 h.)

En el caso del efecto del ácido acético sobre los coliformes, se observa (Figura 16) la reducción del número de UFC en todos los muestreos. Se observó que la dilución al 2% logro una mayor reducción en el muestreo dos, mientras que la dilución al 5% presento la mayor reducción (aprox. 2 log) en el quinto muestreo.

Tanto para el tiempo 1 como el tiempo 2 en aerobios totales se observa una diferencia significativa entre los tratamientos con ácido acético y ácido cítrico. Sin embargo no se encontró una diferencia entre el tratamiento por tiempo.



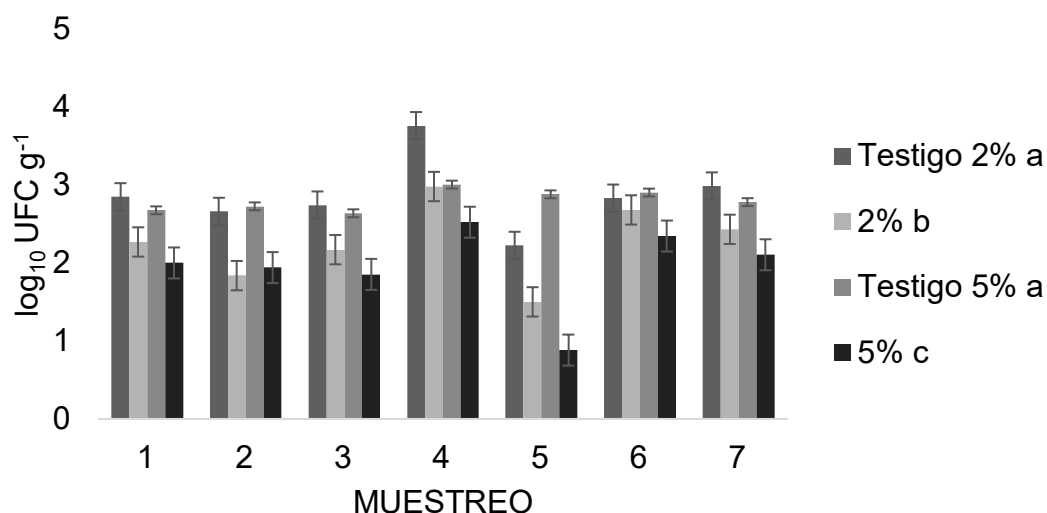
Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 16. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 1 (10 min.)

Tras haber pasado las 24 h la diferencia de los tratamientos con los controles persistió, donde el tratamiento 5% mostró las mayores diferencias como se puede observar en el quinto y séptimo muestreo (Figura 17.). Cabe destacar que el testigo en el muestreo 7 tuvo un aumento (aprox. 1 log), mientras que en el tratamiento de 5% el crecimiento fue significativamente menor.



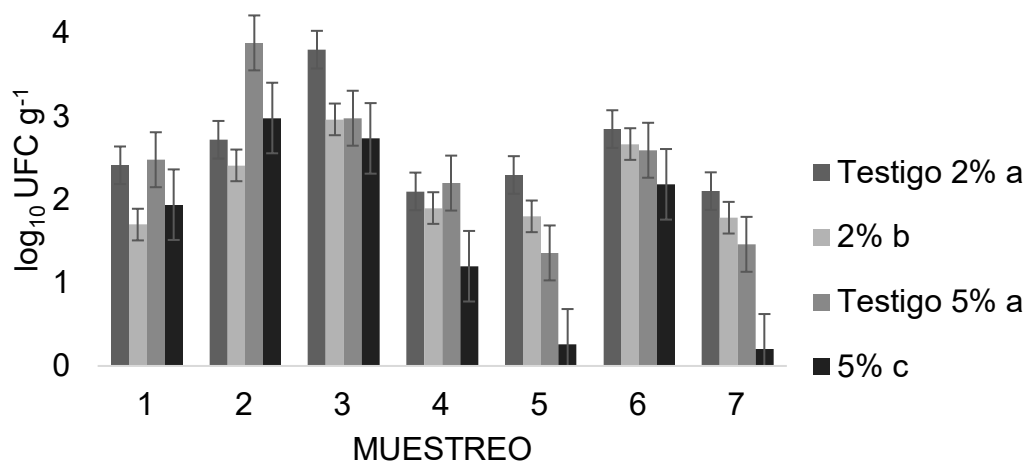
Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 17. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido acético en el tiempo 2 (24 h.)

Los resultados fueron similares en la aplicación de ácido cítrico en coliformes con respecto a los aerobios totales. Sin embargo, se puede observar que en el muestreo 5 y 7 el tratamiento de 5% mostró mayor diferencia. Para el muestreo cinco la carga bacteriana fue baja en comparación a los demás tratamientos como se puede observar en la Figura 18.



Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

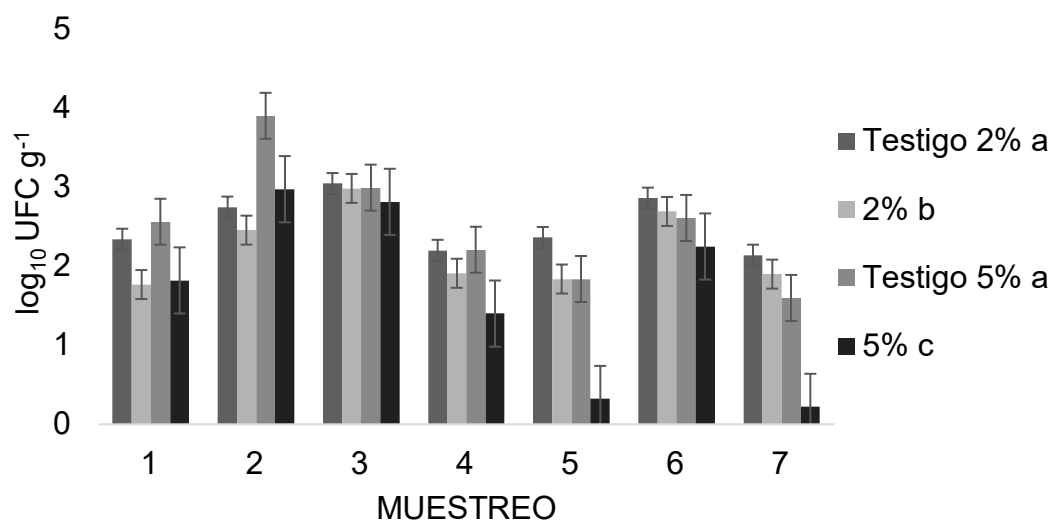
P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 18. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 1 (10 min.)

Posterior a las 24h el crecimiento observado fue similar al del tiempo 0 donde se mantuvo la misma carga bacteriana en todos los muestreos. Adicionalmente se observó que en el muestreo 5 y 7 hubo un ligero aumento en comparación al primer muestro como se muestra en la Figura 19.

En coliformes se encontró las mismas diferencias que en aerobios totales donde se observándose significancia entre los tratamientos con ácido acético y ácido cítrico pero no entre el tratamiento por tiempo.



Testigo 2%, 2%, Testigo 5%, 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b, c: Diferencias significativas con prueba Tukey

Figura 19. Conteos de coliformes (log UFC) de los tratamientos con ácido cítrico en el tiempo 2 (24 h.)

Color

En él se puede observar que los resultados arrojaron distintos valores tanto para el tratamiento con ácido acético en sus 2 porcentajes con sus controles, siendo el valor de L (Luminosidad) donde se observa una diferencia en el tratamiento al 2% respecto al testigo en el primer tiempo de muestreo (10 min), observándose una diferencia de 10 unidades, así como también para el valor de a (verde-Rojo Investigar bien la tendencia) en donde su diferencia fue de 2 unidades. Por otra parte se puede observar una disminución en los valores de L y b así como un aumento en el valor de a en el muestreo de 24 horas con respecto al muestreo de 10 minutos.

Los resultados fueron significativos teniendo una diferencia entre los tratamientos aplicados, el tiempo de muestreo, así como también una diferencia entre tratamientos*muestreo para el valor de L, sin embargo para los valores de a y b no se encontró una diferencia significativa.

Cuadro 4. Promedios de las lecturas tris estímulo de color del cuarto trasero de la canal de cerdo con el tratamiento de ácido acético en 2 tiempos de muestreo.

Acético				
	Tratamiento	L	a	b
Tiempo 1 ^a	Testigo 2%	45.83	4.69	-3.06
	2%	55.48	2.74	-3.27
	Testigo 5%	51.44	4.2	-3.3
	5%	50.26	3.9	-3.14
Tiempo 2 ^b	Testigo 2%	43.12	11	2.19
	2%	45.11	10.03	2.74
	Testigo 5%	40.97	10.89	2.86
	5%	45.59	9.23	2.08

Testigo2% 2% Testigo5% 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b: Diferencias significativas con prueba Tukey

Respecto a los valores de color para el tratamiento con ácido cítrico, se observa en el Cuadro 5 la misma disminución de los valores L y b. Sin embargo se puede observar un aumento en el valor de a en el muestreo de 24 horas respecto a su control, caso contrario a los datos obtenidos con ácido acético.

Los resultados en las lecturas de los valores de L también fueron significativos en las 3 fuentes de variación (tratamiento, tiempo, tratamiento*tiempo) y sin encontrar diferencia en a y b.

En los resultados fueron significativos teniendo una diferencia entre los tratamientos aplicados, el tiempo de muestreo, así como también una diferencia entre

tratamientos*muestreo. Para los valores de a y b no se encontró una diferencia significativa.

Cuadro 5. Promedios de las lecturas tri estímulo de color del cuarto trasero de la canal de cerdo con el tratamiento de ácido cítrico en 2 tiempos de muestreo.

Cítrico

	Tratamiento	L	a	b
Tiempo 1 ^a	Testigo 2%	51.77	2.79	-3.37
	2%	46	3.35	-3.59
	Testigo 5%	46.99	4.56	-2.97
	5%	48.62	4.23	2.73
Tiempo 2 ^b	Testigo 2%	44.4	10.67	3.66
	2%	41.24	10.94	3.6
	Testigo 5%	43.63	10.87	2.72
	5%	41.59	11.24	3.65

Testigo2% 2% Testigo5% 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b: Diferencias significativas con prueba Tukey

pH

En cuanto a pH se mantuvo en las mismas condiciones con respecto a la inclusión del tratamiento y su control para cada porcentaje de ácido acético, no obstante se puede observar una disminución de una unidad para cada uno de los tratamientos a las 24 horas como lo muestra el Cuadro 6.

Cuadro 6. Promedios de medidas de pH en las muestras con el tratamiento de ácido acético en 2 tiempos de muestreo.

Acético			
		Tratamiento	pH
10 min	a	Testigo 2%	7.4
		2%	7.3
		Testigo 5%	7.4
		5%	7.4
24 h	b	Testigo 2%	6.3
		2%	6.3
		Testigo 5%	6.6
		5%	6.5

Testigo2% 2% Testigo5% 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b: Diferencias significativas con prueba Tukey

Los tratamientos con ácido cítrico se mantuvieron en las mismas condiciones, teniendo una disminución para cada uno de los tratamientos de una unidad a las a las 24 horas, teniendo valores con diferencia de 0.1 en el primer tiempo de muestreo y manteniendo la misma tendencia de disminución al segundo tiempo de muestreo quien como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Promedios de medidas de pH en las muestras con el tratamiento de ácido cítrico en 2 tiempos de muestreo

Cítrico		
	Tratamiento	pH
Tiempo 1 ^a	Testigo 2%	7.5
	2%	7.3
	Testigo 5%	7.4
	5%	7.3
Tiempo 2 ^b	Testigo 2%	6.3
	2%	6.3
	Testigo 5%	6.1
	5%	5.9

Testigo2% 2% Testigo5% 5%: Tratamientos

P < 0.05: Diferencia significativa

a, b: Diferencias significativas con prueba Tukey

7. DISCUSIÓN

Oliver *et al.* (2006) indica que la estabilidad del pigmento de la carne de cerdo es el responsable de las diferencias en los parámetros de L y a, con base en esta información se asume que el ácido desestabiliza el pigmento de la carne, por lo que se encontró diferencias en el parámetro L posterior a la aplicación de los tratamientos.

Otra razón por la cual puede haber variación del parámetro de Luminosidad es debido a la humedad de la carne. De acuerdo a Anchidin *et al.* (2023) la modificación de la humedad de la carne de cerdo afecta significativamente los parámetros de color exceptuando el parámetro b. En el presente estudio se encontraron diferencias significativas en el parámetro de L en cuanto la muestra al tiempo 1 con el tiempo 2, por

lo que esto pudo haberse ocasionado por la deshidratación de la carne producto del enfriamiento con aire forzado además del exudado resultado del proceso de rigor mortis.

En cuanto a pH se sabe que este debe de estar en un rango de neutralidad (Jerez-Timaure *et al.* 2013) siempre y cuando el animal esté sano y no haya presentado estrés previo al sacrificio. Un pH superior al 7.5 indica que el animal se sometió a condiciones estresantes previo o durante su muerte (Hernández *et al.* 2023) mientras que si se encuentra debajo de 7 indica actividad física previa. Por otra parte, el proceso de transformación de músculo a carne conlleva una bajada progresiva de pH producto de la formación de ácido láctico (Ortega *et al.* 2012). El pH es un parámetro que se ha utilizado como indicador de calidad de la carne de cerdo la cual se clasifica en tres grupos: carne DFD (>5.8), normal ($5.6 - 5.8$) y PSE (<5.6) en un periodo máximo de 48 h. El pH medido en las canales superó el valor de 5.8, sin embargo la carne no presentó características de carne DFD, esto se pudo haber debido al tiempo de medición (24 h) y posiblemente continuaba el fenómeno de rigor mortis. La razón de haber medido esta variable en este tiempo a que el estudio se realizó en una línea de producción activa donde se procesaba la canal a las 24 h. del sacrificio. Otra explicación es el manejo de la temperatura, la cual llegaba a bajar hasta 1°C . A pesar de estas limitaciones, no se encontraron diferencias producto de la aplicación de los tratamientos.

Los valores de pH obtenidos tras la faena se justifican por lo indicado anteriormente dado que el transporte a la sala de matanza fue un proceso estresante para estos animales. Los datos de pH en el tiempo 2 (24 h) fueron significativamente más bajos, sin embargo, no llegaron a presentar carne DFD como lo mostraron las mediciones de color. Para el caso de los aerobios totales se encontró que en ninguno de los muestreos la cantidad de este tipo de bacterias superó la NOM-092-SSA1-1994 lo que indica que el manejo de la canal en la unidad de producción es adecuado. El ácido acético tuvo el mayor efecto reductor siendo la concentración de 5% la más eficiente este resultado concuerda con lo reportado con FU *et al.* (1994) donde indican que el ácido acético redujo de manera significativa el crecimiento de aerobios totales en comparación con ácido cítrico y ácido láctico.

De la misma manera, Silano *et al.* (2018) reportaron que el ácido acético es más efectivo que el ácido láctico cuando se aplica a canales que aún cuentan con piel como es el caso de este estudio. Por otra parte Van ba *et al.* (2019) indicaron que el rociado con ácido láctico es eficiente para la reducción de aerobios totales y coliformes. Sin embargo, Netten *et al.* (1995) indicaron que la aplicación de ácido láctico puede fomentar el crecimiento de ciertos grupos de aerobios, principalmente bacterias ácido lácticas. Estas bacterias a pesar de que se consideran con carácter GRAS tienen capacidad de deteriorar las características de la carne, por lo que en dicho escenario se recomendaría el uso de ácido acético. Lo que inhibe el uso de bacterias ácido lácticas y en cuanto a las bacterias ácido acéticas el crecimiento será moderado dado que no se encuentran en grandes cantidades en la canal de cerdo (Geeraerts *et al.* 2017).

En el caso de los coliformes, estos no rebasaron el límite indicado en la especificación sanitarias de la normativa vigente (buscar norma). De la misma manera se observó que las diluciones con ácido acético redujeron de manera significativa la población. Se observó que el ácido acético al 5% fue el que mostró mayor eficiencia en la reducción de este grupo bacteriano. Este efecto es el más deseado dado que los coliformes son indicadores de contaminación fecal y además varias de estas son responsables de los principales malestares estomacales e inclusive ETA, entre los géneros más destacados se puede encontrar *E. coli* y *Salmonella* (Alfred *et al.* 2019).

Una de las principales diferencias entre en la faena de ganado bovino con ganado porcino es que mientras que en la res se remueve la piel, en el procedimiento productivo de producción donde se desarrolló el estudio la piel permanece en la canal hasta que se realizan los cortes primarios. De acuerdo con Prasai *et al.* (1992) la piel juega un papel importante en la protección de los microorganismos y los efectos descontaminantes de los ácidos; dado que la calidad microbiológica final de la carne de cerdo dependerá mayoritariamente de la higiene posterior a la faena. Esto indicaría que se puede aplicar una disolución más concentrada sin efectos negativos en la carne y de existir se limitaría a la piel. Sin embargo el utilizar diluciones más concentradas implicaría un costo monetario mayor por concepto del aumento del uso de ácidos orgánicos, en este proyecto

de investigación no se realizó un estudio económico por lo que se deben de realizar este tipo de evaluaciones para determinar el costo - beneficio de la adopción de estas concentraciones.

8. CONCLUSIONES

El rociado de una solución, en canales porcinas, de ácidos orgánicos al 5% reduce la carga bacteriana tanto de aerobios totales como de coliformes, sin afectar de manera significativa el color ni el pH de la carne de cerdo.

El ácido acético tiene un mejor efecto en la reducción de la carga bacteriana en comparación con el ácido cítrico.

La aplicación de ácido acético en canales porcinas es una estrategia que se puede implementar para reducir la carga bacteriana en unidades de producción.

9. LITERATURA CITADA

Aaslyng, M. D., et al. (2017). Consumer perceptions of pork in Europe. *Meat Science*, 132, 50–58.

Allende, A., McEvoy, J., Tao, Y., & Luo, Y. (2009, March). Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. *Food Control*. Elsevier BV. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.05.009>

Anchidin, B. G., Manoliu, D. R., Ciobaru, M. C., Ciobanu, M. M., & Boișteanu, P. C. (2023). The impact of dry and wet aging on pork meat colour. *Animal & Food Sciences Journal Iasi*, 80(4), 189–199.

Anderson, M. E., & Marshall, R. T. (1990). Reducing microbial populations on beef tissues: Concentration and temperature of an acid mixture. *Journal of Food Science*, 55(4), 903–905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01561.x>

Aynewa, D., Gizaw, Z., & Haile, A. F. (2021). Assessment of bacteriological quality of sheep carcasses, effect level of 2.5% citric acid spray on bacterial contamination of meat, and hygiene practices of workers in a selected abattoir in Debrezeit Town, Central Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 15, 117863022110375. <https://doi.org/10.1177/11786302211037555>

Baer, A. A., Miller, M. J., & Dilger, A. C. (2013). Pathogens of interest to the pork industry: A review of research on interventions to assure food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 183–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12001>

Barros Iza, M. E., Cruz Quintana, S., Escobar Aguilar, S., Gómez Usiña, J., & Manzanillas Miranda, C. (2023). Identificación molecular de la bacteria *Escherichia coli* en muestras de carne de pollo que se expenden en el cantón Ambato. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(5), 671–684. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i5.770>

Bilsborough, S., & Mann, N. (2006). A review of issues of dietary protein intake in humans. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(2), 129–152.

Bruhn, J. B., Christensen, A. B., Flodgaard, L. R., Nielsen, K. F., Larsen, T. O., Givskov, M., & Gram, L. (2004). Presence of acylated homoserine lactones (AHLs) and AHL-producing bacteria in meat and potential role of AHL in spoilage of meat. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(7), 4293–4302. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.7.4293-4302.2004>

Brul, S., & Coote, P. (1999). Preservative agents in foods: Mode of action and microbial resistance mechanisms. *International Journal of Food Microbiology*, 50(1–2), 1–17.

Cabrera, C. E., Gómez, R. F., & Zúñiga, A. E. (2007). La resistencia de bacterias a antibióticos, antisépticos y desinfectantes una manifestación de los mecanismos de

supervivencia y adaptación. *Colombia Médica*, 38(2), 149–158.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95342007000200008&lng=en&tlng=es

Castillo, A., Lucía, L., Goodson, K., Savell, J., & Acuff, G. (1999). Descontaminación del tejido de la superficie de la canal de res mediante la aspiración de vapor solo y combinado con agua caliente y aerosoles de ácido láctico. *Journal of Food Protection*, 62, 146–151.

Ciríaco, M., Moura-Alves, M., Silva, R., Pinto, I., Saraiva, C., & Esteves, A. (2020). Decontamination of pig carcasses with organic acids. *1st International Electronic Conference on Food Science and Functional Foods*. MDPI.
http://dx.doi.org/10.3390/foods_2020-07649

Departamento de Economía e Inteligencia de Mercados de Latinoamérica. (2024). TOP 10 principales productores mundiales de carne de cerdo en 2024.

Devlieghere, F., Vermeiren, L., & Debevere, J. (2004). New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14(4), 273–285.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.07.002>

Doulgeraki, A. I., Ercolini, D., Villani, F., & Nychas, G.-J. E. (2012). Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 157(2), 130–141.

Doyle, M. P., et al. (2014). *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. American Society for Microbiology.

Duffy, G., Cummins, E., Nally, P., O' Brien, S., & Butler, F. (2006). A review of quantitative microbial risk assessment in the management of *Escherichia coli* O157:H7 on beef. *Meat Science*, 74(1), 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.011>

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ), Koutsoumanis, K., Allende, A., Alvarez-Ordóñez, A., Bover-Cid, S., Chemaly, M., De Cesare, A., Herman, L., Hilbert, F., Lindqvist, R., Nauta, M., Peixe, L., Ru, G., Simmons, M., Skandamis, P., Suffredini, E., Blagojevic,

B., Van Damme, I., Hempen, M., Messens, W., ... Bolton, D. (2023). Microbiological safety of aged meat. *EFSA Journal*, 21(1), e07745. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7745>

Ercolini, D., Russo, F., Nasi, A., Ferranti, P., & Villani, F. (2009). Mesophilic and psychotrophic bacteria from meat and their spoilage potential in vitro and in beef. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(7), 1990–2001. <https://doi.org/10.1128/AEM.02762-08>

Escobar Hernández, A., Márquez Cardozo, C. J., Restrepo Flores, C. E., Cano Salazar, J. A., & Patiño Gómez, J. H. (2014). Aplicación de tratamiento térmico, recubrimiento comestible y baño químico como tratamientos poscosecha para la conservación de hortalizas mínimamente procesadas. *Acta Agronómica*, 63(1), 1–10. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.40149>

Espinosa-Plascencia, A., & Bermúdez-Almada, M. C. (2023). Las aflatoxinas, un tóxico que continúa presente en los alimentos y sus efectos biológicos en los humanos y en los animales. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 26, e553. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.553>

Feng, P. (2015). *Escherichia coli* serotype O157:H7: Novel vehicles of infection and emergence of phenotypic variants. *Emerging Infectious Diseases*, 1(3), e15–e17.

FIRA. (2020). Consumo per cápita de carne en México, 2006–2020: Kgs por persona, por año.

Foreign Agricultural Service. (2025). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Recuperado de <https://apps.fas.usda.gov/gats/ExpressQuery1.aspx>

Fred Fung, Wang, H.-S., & Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*, 41(2), 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>

FU, A.-H., SEBRANEK, J. G., & MURANO, E. A. (1994). Microbial and quality characteristics of pork cuts from carcasses treated with sanitizing sprays. *Journal of Food Science*, 59(2), 306–309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb06954.x>

Geeraerts, W., Pothakos, V., De Vuyst, L., & Leroy, F. (2017). Diversity of the dominant bacterial species on sliced cooked pork products at expiration date in the Belgian retail. *Food Microbiology*, 65, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.007>

Gobierno del Principado de Asturias. (2005). *Carnes y derivados: Características de la carne como derivado*. Principado de Asturias. Recuperado de <https://saysa.asturias.es/documents/69523/71830/carnes.pdf/9ccea47-9f4a-1561-593b-886a0942bd27?t=1651738148207>

Gomes, T. A., Elias, W. P., Scaletsky, I. C., Guth, B. E., Rodrigues, J. F., Piazza, R. M., Ferreira, L. C., & Martinez, M. B. (2016). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47 Suppl 1, 3–30. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.015>

González, L. M., Romero, M. H., & Sánchez, J. A. (2014). Evaluación de la eficacia del método de insensibilización por electronarcosis en porcinos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(1), 139–143. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2014000100019>

González-Rivas, F., Fontecha-Umaña, F., & Rodríguez Jerez, J. J. (2016). Biofilms: contaminación cruzada en industria alimentaria. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*, 29(2), 215–234.

Gruber, J. S., Ercumen, A., & Colford, J. M., Jr. (2014). Coliform bacteria as indicators of diarrheal risk in household drinking water: systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 9(9), e107429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107429>

Hasan, R., Sumnu, G., Sahin, S., Oz, E., & Oz, F. (2023). The effects of citric acid crosslinking on fabrication and characterization of gelatin/curcumin-based electrospun antioxidant nanofibers. *Antioxidants*, 12(7), 1387.

Havelaar, A. H., Kirk, M. D., Torgerson, P. R., Gibb, H. J., Hald, T., Lake, R. J., ... & World Health Organization Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group. (2015). World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of foodborne disease in 2010. *PLoS Medicine*, 12(12), e1001923. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001923>

Hernández, L., Barragán-Hernández, W. A., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2023). Carne oscura, firme y seca (DFD). Causas, implicaciones y métodos de determinación. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 15(1), e01. <https://doi.org/10.24188/recia.v15.n1.2023.938>

Hernández, L., Barragán-Hernández, W. A., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2023). Carne oscura, firme y seca (DFD): Causas, implicaciones y métodos de determinación. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 15(1), e01. <https://doi.org/10.24188/recia.v15.n1.2023.938>

Hiko, A., Asrat, D., & Zewde, G. (2008). Occurrence of *Escherichia coli* O157:H7 in retail raw meat products in Ethiopia. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 2(5), 389–393.

Interprofesional del Porcino de Capa Blanca (INTERPORC). (2016). Revista científica La Carne de Cerdo de Capa Blanca. https://interporc.com/wp-content/uploads/2016/12/SLA_BO_revistacientifica_07102015_008.pdf

Interprofesional del Porcino de Capa Blanca (INTERPORC). (2015). *La carne de cerdo de capa blanca*. Recuperado de https://www.interporc.com/revista_cientifica_simposio.pdf

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 22000:2018 – Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/65464.html>

Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern Food Microbiology* (7th ed.). Springer.

Jerez-Timaure, N., Súlbaran, M. T., Arenas de Moreno, L., Rodas-González, A., Trompíz, J., & Ortega, J. (2013). Determinación de defectos de calidad en la canal y carne de cerdo mediante el uso de auditorías. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 13–30. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000100002&lng=es&tlng=es

Jiménez Martínez, F. (2014). El filtro de cocina: como factor de riesgo en la contaminación cruzada de los alimentos. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(5).

Jodie, M. H. (2012). Nutrient composition of selected pork loin cuts.

Jose, G. N. (2017). Estudio de plan de mantenimiento de industria alimentaria.

Joy, L. F. (2017). Hazard analysis and critical control points: In FDA warning letters about food products.

Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. T. (2004). Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 123–140.

Karch, H., Tarr, P. I., & Bielaszewska, M. (2005). Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* in human medicine. *International Journal of Medical Microbiology*, 295(6–7), 405–418.

Katepogu, K., & Venkobarao, P. (2018). Microbial contamination and food degradation.

Kopper, G., Mirecki, S., Kljujev, I. S., Raicevic, V. B., Lalevic, B. T., Jovicic-Petrovic, J., Stojanovski, S., & Blazekovic-Dimovska, D. (2014). Hygiene in primary production. In Y. Motarjemi (Ed.). Elsevier.

Kure, C. F., Axelsson, L., Carlehög, M., Måge, I., Jensen, M. R., & Holck, A. (2020). The effects of a pilot-scale steam decontamination system on the hygiene and sensory quality of chicken carcasses. *Food Control*, 109, 106948.

Lambert, R. J. W., & Stratford, M. (1999). Mechanisms of action of food preservatives: Lactic acid and acetic acid. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(1), 1–8.

Litterio Bürki, M. R., & Lopardo, H. (2010). La anaerobiosis más allá de las bacterias anaerobias: su importancia en la recuperación de microorganismos aerobios a partir de materiales purulentos. *Revista Argentina de Microbiología*, 42(2), 102–107. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412010000200007&lng=es&tlng=es

Lizcano, F., & Valenzuela, C. (2020). Impacto del consumo de carne magra de cerdo sobre el riesgo cardiovascular. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(4), 337–343.

Mani-López, E., Palou, E., López-Malo, A., & García, H. S. (2012). Antimicrobial properties of organic acids against foodborne pathogens in a laboratory medium and in apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(5), 1127–1133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02947.x>

Maria, C., Moura-Alves, M., Silva, R., Pinto, I., Saraiva, C., & Esteves, A. (2021). Decontamination of pig carcasses with organic acids. *Foods*, 10, 63. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07649

Micha, R., Wallace, S. K., & Mozaffarian, D. (2010). Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Circulation*, 121(21), 2271–2283.

Miranda Rojas, V. (2018). Implementación y validación de los POES de la cámara de rebanado en una planta TIF en Jilotepec, Estado de México (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Montalvo Navarro, C. A., & Lugo Flores, M. A. (2016). Electroforesis: Fundamentos, avances y aplicaciones (pp. 48–54).

Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). *HACCP: A practical approach*. Springer Science & Business Media.

Nataro, J. P., & Kaper, J. B. (1998). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 11(1), 142–201.

Nataro, J. P., et al. (1995). Enteraggregative *Escherichia coli* elaborates plasmid-encoded heat-stable enterotoxin and heat-stable enterotoxin 1. *Infection and Immunity*, 63(8), 3281–3284.

Nkosi, D. V., Bekker, J. L., & Hoffman, L. C. (2021). The use of organic acids (lactic and acetic) as a microbial decontaminant during the slaughter of meat animal species: A review. *Foods*, 10(10), 2293. <https://doi.org/10.3390/foods10102293>

OECD-FAO. (2020). *Agricultural Outlook 2020–2029*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ojeda, J. C., & Vásquez, V. G. (2009). Aplicación de ácidos orgánicos en la reducción de microorganismos aerobios mesófilos y coliformes totales y fecales en canales de bovinos. *Revista Tecnológica ESPOL*, XX, pp–pp.

Oliver, M. A., Polo, J., Panella, N., Arnau, J., Contreras, M., Morera, S., Ruiz, J., & Gil, M. (2006). *Effect of natural stabilised pork haem pigment on the colour, colour stability and texture of cooked hams from pale, soft and exudative meat*. *Food Science and Technology International*, 12(5), 429–436. <https://doi.org/10.1177/1082013206070161>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). Producción y comercio de carne de cerdo a nivel mundial.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) & FAO. (2021). Consumo de carne per cápita (expresado en peso al por menor).

Ortega Torres, J., & Ariza Botero, M. F. (2012). *El mecanismo de muerte celular programada y su importancia en el proceso de maduración de la carne bovina*. *Revista*

de Medicina Veterinaria, (23), 83–96. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4943824.pdf>.

Pal, M., Ayele, Y., Patel, A. S., & Dulo, F. (2018). Microbiological and hygienic quality of meat and meat products. Narayan Consultancy on Veterinary Public Health, Gujarat, India; Bonga University, Ethiopia; College of Veterinary Science, Gujarat, India; Wolaita Sodo University, Ethiopia.

Panea, B., & Ripoll, G. (2018). Quality and safety of meat products. *Foods*, 7(8), 118. <https://doi.org/10.3390/foods7080118>

Park, S. H., Choi, M. R., Park, J. W., Park, K. H., Chung, M. S., Ryu, S., & Kang, D. H. (2011). Use of organic acids to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh apples and lettuce. *Journal of Food Science*, 76(6), M293–M298. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02205.x>

PIC. (2016). *Manual de especificación de nutrientes*. https://www.pic.com/wp-content/uploads/sites/3/2018/10/Nutrient-Specifications-Manual_2016_Spanish.pdf

Pisula, A., & Pospiech, E. (2011). *Meat—The Basics of Science and Technology* (1st ed., pp. 15–21). SGGW; Warsaw, Poland.

Prasai, R. K., Acuff, G. R., Lucia, L. M., Morgan, J. B., May, S. G., & Savell, J. W. (1992). Microbiological effects of acid decontamination of pork carcasses at various locations in processing. *Meat Science*, 32(4), 413–423. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(92\)90083-G](https://doi.org/10.1016/0309-1740(92)90083-G)

Reszka, P., Cygan-Szczegielniak, D., Jankowiak, H., Cebulska, A., Mikołajczak, B., & Bogucka, J. (2020). Effects of effective microorganisms on meat quality, microstructure of the *Longissimus Lumborum* muscle, and electrophoretic protein separation in pigs fed on different diets. *Animals*, 10(10), 1755.

Ríos-Muñiz, D., Cerna-Cortés, J. F., Morán-García, N., Meza-Segura, M., & Estrada-García, T. (2019). *Escherichia coli* enterotoxigénica y enteroagregativa: prevalencia,

patogénesis y modelos muridos. *Gaceta Médica de México*, 155(4), 410–416.
<https://doi.org/10.24875/gmm.19004716>

Roberto, J. T., Renán, M. D., Gabriel, R. C., & Martha, E. G. V. (2013). Quality of pork meat and its nutritional value.

Russell, A. D., & Gould, G. W. (2003). *Food Preservatives*. Springer Science & Business Media.

SAGARPA. (2019). *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Granjas Porcícolas*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Gobierno de México.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2020). Consumo aparente de carne de cerdo en México, 2013–2020: Millones de toneladas (Elaboración con datos de SIAP-SADER, SIAVI-Secretaría de Economía, Números del Campo y Expectativas Agroalimentarias 2020).

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (1995). *NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2016). *Estándares de bienestar animal*. Gobierno de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/505726/7._Bienestar_animal_e_inocuidad-Pecuario.pdf

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2019).

Secretaría de Salud (SSA). (2002). NOM-213-SSA1-2002: Bienestar animal. Especificaciones para la insensibilización y sacrificio humanitario de animales. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud (SSA). (2002). NOM-213-SSA1-2002: Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud (SSA). (2004). NOM-194-SSA1-2004: Salud ambiental. Control sanitario de los productos y servicios relacionados con la protección de la salud. Establecimientos dedicados al sacrificio de animales y sus derivados. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud (SSA). (2018). NOM-213-SSA1-2018: Bienestar animal. Especificaciones para la insensibilización y sacrificio humanitario de animales. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-109-SSA1-1994. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-110-SSA1-1994. Preparación y dilución de muestras para su análisis. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-114-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1994). NOM-122-SSA1-1994. Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados emulsionados y cocidos. Especificaciones sanitarias. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (1995, 12 de diciembre). NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa [Norma oficial mexicana]. *Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Salud. (2004). *NOM-194-SSA1-2004. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Salud. (2018). *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.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Evolución mensual de la producción de carne de porcino 2021–2023: Miles de toneladas. Dirección de Análisis Estratégico SIAP.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Evolución mensual de las importaciones y exportaciones mexicanas de carne de porcino 2020–2023: Miles de toneladas. Dirección de Análisis Estratégico SIAP.

Silano, V., Barat Baviera, J. M., Bolognesi, C., Brüscheiler, B. J., Chesson, A., Cocconcelli, P. S., Crebelli, R., Gott, D. M., Grob, K., Lampi, E., Riviere, G., Steffensen, I., Tlustos, C., Van Loveren, H., Vernis, L., Zorn, H., Bolton, D., Bover-Cid, S., de Knecht, J., ... Mortensen, A. (2018). Evaluation of the safety and efficacy of the organic acids lactic and acetic acids to reduce microbiological surface contamination on pork carcasses and pork cuts. *EFSA Journal*, 16(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5482>

Silva, M., Fonseca, L., & Sousa, S. (2016). The impact of the ISO 9001:2015 standard on the ISO 22000 standard and food safety management systems (FSMS), 17.

Skřivanová, V., et al. (2006). The effect of lactic acid and formic acid on the decontamination of poultry carcasses. *Acta Veterinaria Brno*, 75(3), 467–472.

Smulders, F. J. M., & Green, G. (1998). Integrating microbial decontamination with organic acids in HACCP programmes for muscle foods: Prospects and controversies. *International Journal of Food Microbiology*, 44(2), 149–169.

Souza, V., Castillo, A., Rocha, M., Sandner, L., Silva, C., & Eguiarte, L. E. (2001). Ecología evolutiva de *Escherichia coli*. *Interciencia*, 26(10), 513–517. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001001000016&lng=es&tlng=es

Stiles, M. E. (1996). Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 70(2–4), 331–345. <https://doi.org/10.1007/BF00395940>

Strathdee, F., & Free, A. (2013). Chapter 9 Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE). *1054*, 145–157.

Tajkarimi, M., & Ibrahim, S. A. (2011). Antimicrobial activity of ascorbic acid alone or in combination with lactic acid on *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium and carrot juice. *Food Control*, 22(6), 801–804.

Theron, M. M., & Lues, J. F. R. (2007). Organic acids and meat preservation: A review. *Food Reviews International*, 23(2), 141–158. <https://doi.org/10.1080/87559120701224964>

Tollefson, L., & Karp, B. E. (2004). Human health impact from antimicrobial use in food animals. *Medicine et Maladies Infectieuses*, 34(11), 514–521.

Van Ba, H., Seo, H. W., Pil-Nam, S., Kim, Y. S., Park, B. Y., Moon, S. S., Kang, S. J., Choi, Y. M., & Kim, J. H. (2018). The effects of pre-and post-slaughter spray application with organic acids on microbial population reductions on beef carcasses. *Meat Science*, 137, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.11.006>

Van Ba, H., Seo, H.-W., Seong, P.-N., Kang, S.-M., Cho, S.-H., Kim, Y.-S., Park, B.-Y., Moon, S.-S., Kang, S.-J., Choi, Y.-M., & Kim, J.-H. (2019). The fates of microbial populations on pig carcasses during slaughtering process, on retail cuts after slaughter,

and intervention efficiency of lactic acid spraying. *International Journal of Food Microbiology*, 294(December 2018), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.015>

Van Netten, P., Mossel, D. A. A., & Veld, J. H. In't. (1995). Lactic acid decontamination of fresh pork carcasses: A pilot plant study. *International Journal of Food Microbiology*, 25(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)00039-9)

Vásquez, S. M., Suárez, H., & Zapata, S. B. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(1), 64–71. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182009000100007>

Vila Estapé, J., & Zboromyrska, Y. (2012). Brotes epidémicos causados por *Escherichia coli* diarreagénicas. *Gastroenterología y Hepatología*, 35(2), 89–93.

Villalobos de Bastardo, L. B. (2010). Caracterización de cepas de *Escherichia coli* enteroinvasiva en un producto cárnico. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 13(1).

Wang, C., Zhao, X., Mao, J., Zhou, G., & Xu, X. (2016). Meat quality, fatty acid composition and sensory evaluation of Cherry Valley, Spent Layer and Crossbred ducks. *Animal Science Journal*, 87(10), 1238–1245.

Zavala Álvarez, J., Sosa Gordillo, J. F., Sánchez López, E., Barreras Serrano, A., & Nemesio Laguna, E. R. (2020). Estimación del impacto económico regional de una granja porcícola tecnificada utilizando una matriz insumo-producto. *Nova Scientia*, 12(24). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2317>