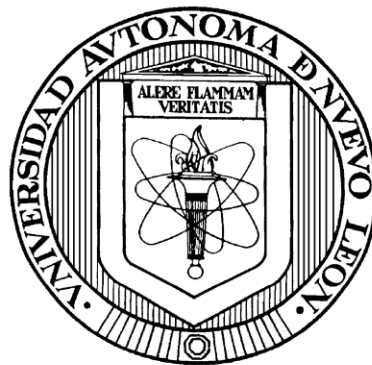


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**“DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS Y PLAGUICIDAS Y
ENTEROBACTERIAS EN CARNE PORCINA COMERCIALIZADA EN EL
NORESTE DE MÉXICO”**

POR

M. en C. ALMA DELIA PAZ GONZÁLEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIA ANIMAL

NOVIEMBRE DE 2024

**“DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS Y PLAGUICIDAS Y
ENTEROBACTERIAS EN CARNE PORCINA COMERCIALIZADA EN EL
NORESTE DE MÉXICO”**

Aprobación de tesis por el comité particular de

M. en C. Alma Delia paz González

COMITÉ DE TESIS

KARINA VÁZQUEZ C.
Dra. Karina Wendoline Vázquez Cisneros

Nombre y Firma
Presidente

Dr. Gildardo Rivera Sánchez

Nombre y Firma
Secretario

Dr. José Pablo Villarreal Villarreal

Nombre y Firma
Vocal

Dr. Jesús Jaime Hernández Escareño

Nombre y Firma
Vocal

Dra. Ana Verónica Martínez Vázquez

Nombre y Firma

**“DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS Y PLAGUICIDAS Y
ENTEROBACTERIAS EN CARNE PORCINA COMERCIALIZADA EN EL
NORESTE DE MÉXICO”**

Aprobación de tesis por el comité particular de

M. en C. Alma Delia Paz González

COMITÉ DE TESIS

KARINA VÁZQUEZ C.

Dra. Karina Wendoline Vázquez Cisneros
Directora



Dr. Gildardo Rivera Sánchez
Codirector Externo



Dr. Uziel Castillo Velázquez
Subdirector de Posgrado e Investigación

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León - Facultad de Agronomía - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por haberme permitido realizar el posgrado DCA.

A la Dra. Karina Wendoline Vázquez Cisneros y al Dr. Gildardo Rivera Sánchez por su orientación y gran apoyo en la dirección de este proyecto de tesis.

A la Dra. Ana Verónica Martínez Vázquez por su tiempo, dedicación y por compartir sus conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. José Pablo Villarreal Villarreal y Dr. Jesús Jaime Hernández Escareño por su apoyo y buena disposición en la revisión de este trabajo.

A todos los que integran el Laboratorio de Biotecnología Farmacéutica por su amistad y gran compañerismo.

DEDICATORIA

“A mi familia Galindo-Paz, mis padres y hermanos que son mi inspiración y motor de vida”

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS | ix |
| RESUMEN..... | x |
| SUMMARY | xi |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 4 |
| 2.1 Producción animal..... | 4 |
| 2.1.1 Ganadería a nivel mundial..... | 5 |
| 2.1.2 Ganadería en México | 6 |
| 2.3 Uso de sustancias químicas en medicina veterinaria | 7 |
| 2.3.1 Antibióticos | 8 |
| 2.3.2 Plaguicidas..... | 9 |
| 2.3.3 Presencia de residuos de antibióticos y plaguicidas en carne | 9 |
| 2.4 Prevalencia de bacterias en carne porcina..... | 10 |
| 2.4.1 Enterobacterias | 11 |
| 2.4.2 Resistencia antimicrobiana | 12 |
| 2.5 Procesos de industrialización y comercialización de ganado porcino | 14 |
| 2.5.1 Seguridad alimentaria en la carne porcina | 14 |
| 2.5.3 Crianza, sacrificio y distribución de cerdos | 15 |
| 2.6 Impacto de las enterobacterias en la salud pública | 16 |
| 2.6.1 Buenas prácticas de manejo | 18 |
| 2.6.2 Legislaciones que rigen la industria cárnica porcina | 18 |
| 3. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 19 |

| | |
|--|----|
| 4. HIPÓTESIS..... | 20 |
| 5. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | 21 |
| 5.1 OBJETIVO GENERAL | 21 |
| 5.1.1 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> | 21 |
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS | 22 |
| 6.1 Tipo de estudio..... | 22 |
| 6.2 Muestras de estudio..... | 22 |
| 6.3 Diseño experimental..... | 22 |
| 6.4 Obtención de muestras de carne porcina..... | 23 |
| 6.5 Estándares analíticos y reactivos..... | 23 |
| 6.6 Determinación analítica de residuos antibióticos y plaguicidas | 23 |
| 6.6.1 <i>Extracción de residuos de plaguicidas y antibióticos</i> | 23 |
| 6.6.2 <i>Análisis por cromatografía líquida de ultra rendimiento (UPLC-MS)</i> | 24 |
| 6.6.3 <i>Cuantificación de ampicilina</i> | 25 |
| 6.7 Determinación de bacterias..... | 25 |
| 6.7.1 <i>Cuantificación de bacterias cultivables resistentes a antimicrobianos</i> | 25 |
| 6.7.2 <i>Identificación bacteriana mediante pruebas bioquímicas</i> | 26 |
| 6.8 Análisis estadístico..... | 26 |
| 7. RESULTADOS | 27 |
| 7.1 Obtención de muestras | 27 |
| 7.2 Determinación de residuos de antibióticos y plaguicidas | 27 |
| 7.2.1 <i>Análisis cualitativo de antibióticos en carne de cerdo</i> | 29 |
| 7.2.2 <i>Análisis cualitativo de plaguicidas en carne de cerdo</i> | 32 |
| 7.2.3 <i>Análisis cuantitativo de ampicilina en carne de cerdo</i> | 33 |
| 7.3 Prevalencia de enterobacterias en carne de cerdo | 39 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 8. DISCUSIÓN | 43 |
| 9. CONCLUSIONES..... | 48 |
| 10. PERSPECTIVAS..... | 49 |
| 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 50 |
| ANEXOS..... | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localidades del noreste de México (Victoria, Tamaulipas; Monterrey, Nuevo León; y Saltillo, Coahuila) tomadas para muestreo (carne de cerdo). | 22 |
| Figura 2. Cromatograma de la ampicilina (A) obtenido por UPLC-MS..... | 34 |
| Figura 3. Espectro de fragmentación de la ampicilina (A) obtenido por UPLC-MS..... | 34 |
| Figura 4. Curva de calibración del estándar de ampicilina (A)..... | 35 |
| Figura 5. Comparación de las concentraciones de ampicilina encontradas en la carne de cerdo..... | 39 |
| Figura 6. Cuantificación de colonias resistentes a antibióticos..... | 40 |
| Figura 7. Diversidad de enterobacterias con resistencia a antibióticos..... | 40 |
| Figura 8. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Cd. Victoria. | 41 |
| Figura 9. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Monterrey. | 41 |
| Figura 10. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Saltillo. | 42 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Detección cromatográfica de residuos de antibióticos y plaguicidas en carne de cerdo..... | 9 |
| Tabla 2. Prevalencia de enterobacterias con resistencia a antibióticos con prevalencia en carne de cerdo (Paz <i>et al.</i> , 2023)..... | 13 |
| Tabla 3. Número de tiendas de cadena comercial y locales existentes en las capitales de tres estados del Noreste de México (INEGI 2021). | 27 |
| Tabla 4. Detección de estándares analíticos de antibióticos y plaguicidas por UPLC-MS. | 28 |
| Tabla 5. Detección de residuos de antibióticos en muestras de carne de cerdo de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo detectados por UPLC-MS. | 31 |
| Tabla 6. Detección de residuos de plaguicidas en muestras de carne de cerdo de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo por UPLC-MS. | 33 |
| Tabla 7. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Monterrey por UPLC-MS. | 36 |
| Tabla 8. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Cd. Victoria por UPLC-MS. | 37 |
| Tabla 9. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Saltillo por UPLC-MS..... | 38 |
| Tabla 10. Porcentaje (%) de enterobacterias resistentes a tetraciclina, ampicilina, y estreptomycin. | 39 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | |
|------|---|
| g | Gramos |
| t | Toneladas |
| μg | Microgramo |
| ng | Nanogramo |
| L | Litro |
| % | Porcentaje |
| °C | Grados Celsius |
| H | Hora |
| min | Minuto |
| M | Molar |
| μM | MicroMolar |
| mL | Mililitro |
| h | Hora |
| mg | Miligramo |
| min | Minuto |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| UPLC | Ultra Performance Liquid Chromatography (Cromatografía líquida de Ultra Eficiencia) |
| NOM | Norma Oficial Mexicana |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| LMR | Limites Máximo de Residuos |

RESUMEN

La carne de diversos animales como alimento para el ser humano representa un riesgo sanitario y de salud por la presencia de agentes xenobióticos, entre los que se encuentran los antibióticos, los pesticidas, y recientemente los micro plásticos, además de presentar posiblemente bacterias que causan las denominadas Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETAs). En México y en diversos países una de las carnes de más alto consumo es la carne de cerdo, lo cual genera una alta demanda de dicho insumo, por lo que es necesario que la cadena de generación, producción y comercialización cumpla con los estándares de calidad de cada país, así como con los estándares de calidad internacionales. El objetivo de este trabajo fue establecer la presencia de residuos de antibióticos y pesticidas mediante la técnica analítica de cromatografía de alta resolución (UPLC), así como determinar la presencia de bacterias resistentes en muestras de carne de cerdo de supermercados y tiendas minoristas de las principales ciudades del noreste de México. Del análisis de 15 antibióticos, las muestras presentaron 8 residuos de antibióticos. La tasa positiva más alta la presentó Ampicilina (A) (> 60.0%) en supermercados y tiendas minoristas, con valores superiores a los límites máximos permisibles. Por otra parte, se detectó residuos del plaguicida diazinón (DZ) con un valor de 20.13%. El análisis microbiológico de bacterias logró identificar 17 especies en las muestras de carne de puerco analizadas con resistencia a tetraciclina, ampicilina y estreptomycin. Las bacterias con la mayor prevalencia fueron *Escherichia coli* (*E. coli*), *Citrobacter diversus* (*C. diversus*) y *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*). Lo anterior demuestra que la carne de cerdo en el noreste de México representa un potencial riesgo para la salud humana, por lo cual se deben de establecer estrategias de monitoreo y control de dichos residuos encontrados, así como de las bacterias identificadas.

SUMMARY

The consumption of meat from various animals poses health and sanitary risks due to the presence of xenobiotic agents, including antibiotics, pesticides, and, more recently, microplastics. Additionally, these meats may harbor bacteria that cause foodborne diseases (FBD). In Mexico and many other countries, pork is one of the most consumed meats, resulting in high demand. Therefore, it is essential that the production, processing, and marketing chain adheres to national and international quality standards. The objective of this study was to assess the presence of antibiotic and pesticide residues using high-resolution chromatography (UPLC), and to identify antibiotic-resistant bacteria in pork samples collected from supermarkets and butcher shops in major cities of northeastern Mexico. Of the 15 antibiotics analyzed, 8 residues were detected. Ampicillin showed the highest prevalence, exceeding 60% in both supermarkets and retail outlets, with levels surpassing the maximum permissible limits. Additionally, pesticide residues of diazinon were identified at a rate of 20.13%. Microbiological analysis revealed 17 bacterial species in the pork samples, with resistance observed against tetracycline, ampicillin, and streptomycin. The most prevalent bacteria included *Escherichia coli* (*E. coli*), *Citrobacter diversus* (*C. diversus*), and *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*). These findings indicate that pork in northeastern Mexico may pose a significant risk to human health, underscoring the need for monitoring and control strategies for the detected residues and identified bacteria

1. INTRODUCCIÓN

El constante aumento poblacional a nivel global ha causado una creciente demanda de alimentos, por lo que la industria alimentaria, enfrenta el reto de producir suficientes alimentos de manera acelerada, que cumplan con dos requisitos: ser nutritivos e inocuos, para asegurar la salud del consumidor. En muchos países, la carne es un elemento clave de la dieta diaria por su alto nivel de nutrientes biológicamente disponibles, incluyendo proteínas, hierro, zinc y vitaminas del complejo B (Leroy *et al.*, 2023; Smith *et al.*, 2022; Cocking *et al.*, 2020). Un estudio reportó, que entre 1992 a 2016 el consumo de carne aumento (Katare *et al.*, 2020). Sin embargo, la calidad e inocuidad de la carne se ve seriamente amenazada por todo tipo de contaminantes orgánicos de bajo peso molecular, como los residuos de medicamentos veterinarios, los residuos de agroquímicos, las micotoxinas, los aditivos alimentarios y los contaminantes ambientales, los cuales generan una preocupación alarmante en todo el mundo (Hajrulai *et al.*, 2021).

En la producción de carne, los antibióticos son ampliamente utilizados de manera rutinaria en la cría intensiva de ganado con fines terapéuticos, preventivos y como promotores del crecimiento (Al-Amri *et al.*, 2021; Ramadan *et al.*, 2020). Se estima que el 80% de los antibióticos comercializados en el mundo son aplicados a la ganadería (Ventola, 2015; Haskell *et al.* 2018). Sin embargo, dichos fármacos no siempre son aplicados de manera correcta en el ganado, presentándose en muchas ocasiones un uso innecesario o excesivo, con dosis o tiempos de aplicación incorrectos y sin supervisión de especialistas en medicina veterinaria. Lo cual puede llegar a la generación de residuos de antibióticos en animales destinados para la producción de carne, leche y huevos (Bayou & Haile, 2017; Chen *et al.*, 2019). Por lo cual, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido límites máximos de residuos (LMR) para controlar la concentración de antibióticos en productos de origen animal y cuidar la salud del consumidor (FAO/OMS, 2018). En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-004-ZOO-1994 estableció Límites Máximos de Residuos (LMR) para residuos tóxicos en alimentos cárnicos de origen animal. Sin embargo, esta norma fue cancelada en 2014. Actualmente, el Servicio de

Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) monitorea los LMR en los alimentos (SENASICA, 2023).

Los residuos de antibióticos en los alimentos probablemente induzcan y aceleren el desarrollo de resistencia a los antibióticos en las bacterias, causen alergias (penicilina) e induzcan otras patologías más graves como cáncer (sulfametazina, oxitetraciclina y furazolidona), shock anafiláctico, nefropatía (gentamicina), trastornos gastrointestinales (tetraciclinas), toxicidad de la médula ósea, efectos mutagénicos y trastornos reproductivos (cloranfenicol) en humanos (Mund *et al.*, 2017; Bacanlı *et al.*, 2019; Arsene *et al.*, 2022). Las bacterias resistentes en ganado pueden transmitirse a humanos por contacto directo con los animales o por los alimentos de origen animal; y de manera indirecta, a través de las heces que son depositadas en suelo o agua (Martínez *et al.*, 2021). La familia bacteriana principal de contaminación en carne son las enterobacterias, Gram negativas de especies como; *Salmonella* spp. (Rönnqvist *et al.*, 2018), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*), *Yersinia* spp., entre otras (Peruzy *et al.*, 2021). Estas enterobacterias son un tipo de microorganismos causantes de “Enfermedades Transmitidas por los Alimentos” (ETAS) (Mladenović *et al.*, 2021).

Por otra parte, en los últimos años, el uso extendido de plaguicidas también ha contribuido al desarrollo de resistencia (Curutiu & Chifiriuc, 2017) y evolución antimicrobiana (Jørgensen *et al.*, 2020). La aplicación de plaguicidas en ganado y/o el entorno agrícola, puede dar lugar a la transferencia de residuos en los productos ganaderos (Kang *et al.*, 2020; LeDoux, 2011), considerando que la contaminación o bioacumulación de pesticidas puede ocurrir en el ganado si se les administra alimento contaminado con pesticidas o si el animal entra en contacto con partículas de tierra o agua contaminadas (Osaili *et al.*, 2020). En consecuencia, cualquier residuo de pesticida no metabolizado por el ganado podría bioacumularse dentro del cuerpo humano (Kalyabina *et al.*, 2021). Los pesticidas organofosforados, organoclorados, piretroides, triazinas, carbamatos o neonicotinoides, pueden causar efectos crónicos sobre la salud, como tumores malignos, trastornos sanguíneos, alteraciones endocrinas, efectos en la reproducción y/o trastornos

nerviosos (Rahman *et al.*, 2021). Derivado de lo anterior, ha surgido el interés de analizar la presencia de los residuos de antibióticos y plaguicidas en carne porcina comercializada al por menor para consumo humano, así como la presencia de enterobacterias resistentes a antibióticos, para evaluar la situación actual de este problema y proponer estrategias eficientes para su control y manejo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Producción animal

A lo largo de la historia, la crianza de animales ha sido muy importante en el ámbito económico, cultural y social. Sin embargo, la demanda de alimentos de origen animal se ha visto estimulada por el crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento del ingreso en países de desarrollo, de tal manera, que la producción y consumo de productos de origen animal a nivel mundial ha venido en aumento y se ha previsto que a través de los años seguirá incrementándose, tanto así que, la producción ganadera ocupa actualmente un tercio de las tierras cultivadas (FAO, 2021). En 2022, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) mencionó, que, debido al incremento en la demanda de productos animales, la producción pecuaria a gran escala es quien cubre en gran medida este hecho, así como millones de pequeños productores de ganado, siendo los sistemas de producción muy variable entre países (Gilbert *et al.*, 2015, 2018).

El incremento en el consumo de productos cárnicos se ve influenciado por el desarrollo económico que está estrechamente relacionado con el ingreso per cápita y urbanización, además de factores sociales y de globalización (Milford *et al.*, 2019). A nivel mundial, los tres tipos de carne de mayor demanda han sido el pollo, el cerdo y el bovino. Informes de 1999, indican que México se ha mantenido entre los 10 países principales consumidores y productores de carne (USDA, 2005; SE-OCD, 2019), posicionándose en 2022, en el 6° lugar de consumo y 7° lugar de producción (COMECARNE, 2023). En cuatro décadas el aumento en el consumo de carne ha sido muy notorio para los mexicanos, en 1970 por persona se consumían 23 kg de carne al año, para 1990 la cifra aumento a 34 kg, siendo en 2013 donde se observó un incremento considerable de hasta 63 kg y en 2015 a 65 kg (Atlas de la Carne Adendum México, 2015).

2.1.1 Ganadería a nivel mundial

De acuerdo con cifras publicadas en 2024 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés), a nivel mundial, Estados Unidos tiene el primer lugar de producción de ganado bovino con 12 millones 29 mil toneladas seguida de Brasil con 10 millones 95 mil toneladas; China con 7 millones 53 mil toneladas; la Unión Europea con 6 millones 46 mil toneladas y México, solamente produjo 2 millones de toneladas (USDA, 2023).

En la producción de ganado porcino, el continente asiático en 2021 obtuvo el primer lugar con el 50.0% de la producción de cabezas de cerdo, seguido por Europa con un 20.2%, América con 17.3%, África con 3.2% y en último lugar Oceanía con un 0.6%, siendo China el país líder en la producción de cerdos con una cantidad de 57 millones 94 mil toneladas; seguida por la Unión Europea con 20,0 millones de toneladas; Estados Unidos con 12 millones 39 mil toneladas; Brasil con 4,0 millones de toneladas; Canadá con 2,0 millones de toneladas; y México con 1,0 millones de toneladas (USDA, 2023). Las principales naciones con mayor exportación de carne de cerdo son; Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea, dirigidas a países como: Asia, Medio Oriente, y algunos países de África. China, Japón y México son los países que presentan una mayor demanda de importaciones (COMECARNE, 2023).

De acuerdo con la producción y consumo de carne, el reporte global de 2023 de Perspectivas Agrícolas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico indica que la producción de carne fue de 338 millones 711 mil toneladas y de consumo de 338 millones 402 miles toneladas, siendo la de mayor demanda, la de pollo (carne blanca) en segundo lugar la carne de res, cerdo y ovino (carne roja). En México, se producen actualmente 3 millones 398 mil toneladas de carne de pollo, seguida de la carne bovino con 2 millones 072 mil toneladas y de cerdo con 1 millón 605 mil toneladas (OECD-FAO, 2023).

2.1.2 Ganadería en México

La ganadería constituye una de las principales actividades económicas en el sector primario del país, dado que es la principal fuente proveedora de alimentos y materias primas de origen animal (SIAP, 2020). En cifras publicadas en 2019 por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), el Estado de Veracruz se posicionó en primer lugar con una producción de 4,386,162 cabezas de ganado bovino; seguido por el Estado de Jalisco con 3,326,573; Chiapas con 2,594,339; Chihuahua con 2,504,286 y, en quinto lugar, el Estado de Tamaulipas con 1,192,275.

México a través de los años ha experimentado cambios en cuanto al consumo de carnes, principalmente por los ingresos de la población y de los precios; desde 1986 la carne de pollo se convirtió en la más consumida, debido a que su costo disminuyó, por las mejoras en las tecnologías y la apertura comercial (Martínez *et al.*, 2019). En el caso de la porcicultura, en la década de los setenta se tuvo avances en su sistema de producción, proporcionando mayor volumen y abastecimiento en el país, aumentando su consumo per cápita (Instituto Nacional de la Economía Social, 2018). El crecimiento de la producción porcícola en las regiones de México fue principalmente por el progreso tecnológico, en cambio el aumento en su consumo se dió por el crecimiento de la población a nivel nacional (Rebollar *et al.*, 2018). Aunque la carne bovina se encuentra por encima de la producción de la carne porcina, esta última sigue posicionándose en segundo lugar como la carne de consumo favorita. En 2021, los mexicanos consumieron 20.3 kg de carne porcina al año, siendo a nivel nacional un consumo de más de 2 millones 715 mil toneladas. En 2023, las cifras tuvieron un ligero incremento a 2 millones 914 mil toneladas, a su vez el consumo per cápita fue de 22.1 kg (COMECARNE, 2023). El 86% de carne de cerdo la producen los estados de; Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán y Veracruz con exportaciones a países como: Estados Unidos, Canadá y Chile (SIAP, 2022; OECD-FAO, 2022).

La producción de carne porcina en México constantemente trabaja en pro de mejorar y producir mayor cantidad de carne magra de calidad; entre las razas más empleadas para pie de cría son; la Duroc-Jersey, Landrace, Hampshire, Chester White, Pietrain y York Shire (CEDRSSA, 2018). Se cuentan con diferentes métodos de producción; tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio. Las granjas de cerdos se dedican específicamente a la crianza de ganado con el fin de comercialización. Durante su producción son clasificados como: pie de cría, productoras de lechones, de ciclo completo, y de engorda; este último tipo, se dedica a la cría de lechones destetados que son engordados para ser llevados al rastro (SIAP, 2018).

2.3 Uso de sustancias químicas en medicina veterinaria

En general, el ganado se encuentra expuesto a numerosos productos químicos, que incluyen desde contaminantes ambientales, medicamentos veterinarios, residuos de plaguicidas, entre otros (Tuyet-Hanh *et al.*, 2017). El uso de medicamentos veterinarios es aplicado de manera rutinaria en el ganado, lo que conlleva a la posible acumulación de residuos de sustancias en animales, así como a la resistencia antimicrobiana (Barbosa *et al.*, 2019). Lo anterior, sucede cuando se le da un mal uso a los medicamentos en animales, por ejemplo, al no contar con personal especializado en el área veterinaria, principalmente en granjas pequeñas o de mediana escala; dada la experiencia que obtienen los cuidadores de animales a lo largo de los años, deducen el tipo de enfermedad de acuerdo a la signología, y aplican una dosificación insuficiente o excesiva del medicamento, dado que no se contó con la aprobación de un especialista en medicina veterinaria (Chen *et al.*, 2016; Kimera *et al.*, 2020). El uso inadecuado y constante de agentes antimicrobianos, ha provocado que residuos de estos estén presentes en animales destinados al consumo humano (Do *et al.*, 2016).

2.3.1 Antibióticos

Los antibióticos se describen como agentes con capacidad atacar o inhibir el crecimiento de microorganismos del tipo bacteriano. En ganadería son utilizados con frecuencia, con el fin de mantener el bienestar y crecimiento de los animales (Van *et al.*, 2020). En esta práctica las penicilinas y tetraciclinas son las de mayor demanda, utilizadas para el tratamiento de enfermedades como son; infecciones gastrointestinales, infecciones respiratorias e infecciones del sistema nervioso central, entre otras (Lekagul *et al.*, 2019). También son empleados como suplementos en los alimentos de animales a lo largo de su vida, para mejorar su rendimiento productivo; en cerdas son empleados en estado reproductivo, en lechones que han sido destetados y en cerdos en crecimiento (Li, 2017).

A nivel mundial los antibióticos utilizados ampliamente son: las tetraciclinas, aminoglucósidos, β -lactámicos, macrólidos y sulfonamidas (Manyi-Loh *et al.*, 2018). De la familia de las tetraciclinas, se encuentra la tetraciclina, la oxitetraciclina y la clortetraciclina con mayor uso en medicina veterinaria (Xu *et al.*, 2022). Dado que los antibióticos poseen estructuras químicas complejas, en muchas ocasiones es difícil su degradación y pueden persistir en el medio ambiente (Al-Wabel *et al.*, 2021). Se considera que el consumo promedio al año de antibióticos es de 172 mg por cada kilogramo de masa porcina, 148 mg/kg de masa aviar y 45 mg/kg de masa bovina (Xiong *et al.*, 2018). Sin embargo, los animales no son capaces de metabolizar eficazmente los antibióticos y entre un 40-90% son excretados al ambiente como metabolitos activos/no activos, llegando incluso a acumularse hasta niveles que generan un impacto en el ambiente (Keen & Patrick, 2013; K. Kumar *et al.*, 2005; Quaik *et al.*, 2020).

Las estimaciones globales de consumo de antimicrobianos destinados a animales, muestra en promedio que la mayor cantidad es destinada a cerdos (172 toneladas), segundo lugar a pollos (148 toneladas) y en bovinos es más bajo (45 toneladas). En América, el mayor consumo de antimicrobianos se observó en el sur de Brasil, los suburbios de la Ciudad de México y el medio oeste y sur de los Estados Unidos (Boeckel

et al., 2015). A nivel mundial, los 10 principales países usuarios de antimicrobianos en animales son: China (45%); Brasil (7.9%); Estados Unidos (7.0%); Tailandia (4.2%); India (2.2%); Irán (1.9%); España (1.9%); Rusia (1.8%); México (1.7%) y Argentina (1.5%). Estos países representan el 75% de los antimicrobianos utilizados en la producción animal, aunque solo representan el 50% de la población humana mundial (Tiseo *et al.*, 2020).

2.3.2 Plaguicidas

Los plaguicidas o también denominados “pesticidas” se han utilizado con el fin de controlar o erradicar organismos no deseados “plagas”, estos juegan un papel importante en la ganadería y la agricultura, con el fin de eliminar insectos y/o parásitos en el ganado, así como para proteger los cultivos y obtener alimentos de buena calidad (Colosio *et al.*, 2017). La OMS, menciona que en el mundo se emplean más de 1,000 plaguicidas (OMS, 2022).

2.3.3 Presencia de residuos de antibióticos y plaguicidas en carne

Diversos estudios se han llevado se han enfocado en el análisis de carne de cerdo con el fin de detectar la presencia de residuos de antibióticos y plaguicidas, en la tabla 1 se muestran algunos ejemplos.

Tabla 1. Detección cromatográfica de residuos de antibióticos y plaguicidas en carne de cerdo.

| Tipo de Muestra | Tipo de análisis | Antibiótico | País | Autor |
|-----------------|------------------|---|--------|------------------------------|
| Porcino | CL | Anfenoles, betalactámicos, diaminopirimidina, lincosamidas, macrólidos, pleuromutilinas, quinolonal, rifamicinas, sulfanamidas y tetraciclinas. | Italia | Moretti <i>et al.</i> , 2016 |

| | | | | |
|---------------------------------|-------|---|----------------|----------------------------------|
| Cerdo (hígado y riñón) | HPLC | Ciprofloxacina, estreptomicina, sulfanilamina y tetraciclina. | África | Ramatla <i>et al.</i> , 2017 |
| Carne de cerdo | GC-MS | Metil paratión y malatión. | Andhra Pradesh | Kiranmayi <i>et al.</i> , 2018 |
| Carne de cerdo | HPLC | Norfloxacina y clortetraciclina. | China | Chen <i>et al.</i> , 2019 |
| Carne de cerdo | GC-MS | Carbarilo, fenpiroximato, tiametoxan y diamfenicol | Beijing | Song <i>et al.</i> , 2019 |
| Carne de cerdo | GC-MS | Clorpirifos y fenitrotion | Corea | Kang <i>et al.</i> , 2020 |
| Hígado de cerdo | UPLC | Chlortetraciclina y 4-Epi-chlortetraciclina. | China | Zhao <i>et al.</i> , 2021 |
| Cerdo (músculo, hígado y riñón) | CL | Sulfonamidas, estreptomicina, tetraciclinas y quinolonas. | Grecia | Stavroulaki <i>et al.</i> , 2022 |

Cromatografía Líquida (CL), Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), Cromatografía Líquida de Ultra Rendimiento (UPLC) y Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas GC-MS.

2.4 Prevalencia de bacterias en carne porcina

La industria cárnica enfrenta el reto de brindar al consumidor un producto de alto valor nutricional, además que sea un alimento inocuo. Por ello, en el proceso de la cadena productiva de carne, desde el sacrificio del animal hasta su llegada a la mesa para consumo, se deben cuidar diferentes puntos críticos en la cual este alimento pudiera contaminarse. Recientemente, el centro para el control y tratamiento de enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés), menciona que existen más de 250 enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs), a causa de macroorganismo como: bacterias, virus y parásitos, siendo Estados Unidos el más afectado, ya que anualmente 48 millones de personas contraen una ETA, de las cuales 128,000 son hospitalizados y 3,000 llegan a fallecer (CDC, 2022).

2.4.1 Enterobacterias

Diversos estudios han demostrado la prevalencia de enterobacterias en muestras de carne de cerdo (Tabla 2). A nivel internacional, en Estados Unidos se detectó a *E. coli* con una prevalencia del 12% y *Salmonella* spp., con más del 5% (Mollenkopf *et al.*, 2011), para el 2017 se vuelve a reportar *E. coli* con el 18% en carne obtenida de sacrificios (Scheinberg *et al.*, 2017). En el caso *Salmonella* spp. (32%) fue reportada en Rumania (Mihaiu *et al.*, 2014), en Colombia con el 56.0% (Arcos-Ávila *et al.*, 2013) y 71.4 % (Rondón-Barragán *et al.*, 2015). Reportes, también mencionan la presencia de *Salmonella* entérica (*S. entérica*) con 17% de positividad en un estudio realizado en el sur de Brasil (Kich *et al.*, 2020). En México, en la región centro encontraron en muestras de carne molida de cerdo a *Salmonella* con el 22% (Villalpando-Guzmán *et al.*, 2016). De igual manera, en estado de Tamaulipas, al noreste del país, también se reportó *E. coli* en una alta prevalencia del 50% (Martínez *et al.*, 2018). En cambio, el estudio de Gutiérrez *et al.* (2020), menciona una baja prevalencia reportó *Salmonella* spp., en carne de cerdo.

Tabla 2. Presencia de enterobacterias en carne de cerdo (Paz *et al.*, 2023).

| Bacteria | Porcentaje de prevalencia | Tipo de muestra | Lugar de procedencia | País |
|------------------------|---------------------------|-----------------|---|--|
| <i>E. coli</i> | 12.2% | Carne | Mercados de venta al por menor | Estados Unidos (Mollenkopf <i>et al.</i> , 2011) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 5.8% | Carne | Producción y mercados de venta al por menor | Rumania (Mihaiu <i>et al.</i> , 2014) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 56.0% | carne | Sacrificio | Colombia (Arcos <i>et al.</i> , 2013) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 71.4% | Carne | Sacrificio | Colombia (Rondón <i>et al.</i> , 2015) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 22.5% | Carne molida | Mercados de venta al por menor | México (Villalpando <i>et al.</i> , 2016) |

| | | | | |
|------------------------|-------|--------------|--------------------------------|---|
| <i>E. Coli</i> | 18% | Carne | Sacrificio | Estados Unidos (Scheinberg, 2017) |
| <i>E. coli</i> | 50.8% | Carne molida | Mercados de venta al por menor | México (Martínez <i>et al.</i> , 2018) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 2.7% | Lomo | Mercados de venta al por menor | México (Gutiérrez <i>et al.</i> , 2020) |
| <i>S. entérica</i> | 17.2% | Carne | Sacrificio | Brasil (Kich <i>et al.</i> , 2020) |
| <i>Salmonella</i> spp. | 95% | Carne | | |

2.4.2 Resistencia antimicrobiana

Los antibióticos se han usado durante décadas para tratar enfermedades infecciosas y salvaguardar la vida humana, sin embargo, estos han cambiado a lo largo del tiempo, generando un desarrollo y evolución de nuevos antimicrobianos, lo que ha provocado también una evolución en la resistencia antimicrobiana (Hutchings *et al.*, 2019).

Debido a la elevada administración de antibióticos que actualmente se presenta a nivel mundial en el proceso de producción de animales de crianza (en 2010, se emplearon más de 63, 000 toneladas y en 2030 se estima el uso de 105,000 toneladas), la resistencia antimicrobiana ha incrementado rápidamente y se ha convertido en una amenaza para la salud pública a nivel global (Van Boeckel *et al.*, 2015; Elshamy & Aboshanab, 2020). En la carne de cerdo, la presencia de bacterias resistentes a diferentes grupos antibióticos (Tabla 3) es un problema grave. En Europa, detectaron cepas de *E. coli* y *Salmonella* multirresistentes a β -lactámicos en muestras de una empresa procesadora de Alemania, pero abastecida de mataderos de Polonia, Bélgica y España, sugiriendo que la causa de dicha resistencia se debe a una cadena de procesamiento y distribución muy extensa (Schill *et al.*, 2017). En América Latina, en muestras de carne de cerdo de mercados de Lima, Perú, se aislaron cepas de *E. coli* resistentes a cinco antibióticos (ampicilina, tetraciclina, ácido nalidixico, cloranfenicol y cotrimoxazol) (Ruiz-Roldán *et al.*, 2018).

Tabla 2. Prevalencia de enterobacterias con resistencia a antibióticos con prevalencia en carne de cerdo (Paz *et al.*, 2023).

| Bacteria | Resistente a | País |
|---|--|--|
| <i>E. coli</i> | GEN, TGC, OFX, LEV. | Eslovaquia (Gajdošová <i>et al.</i> , 2011) |
| <i>E. coli</i> | AMC, AMP, PIP, CEC, COX, CXM, IMP, APR, GEN, NEO, SPT, STR, TOB; CMP, CIP, ENR, COL, DOX, CXT. | Germania (Schwaiger <i>et al.</i> , 2012) |
| <i>E. coli</i> , <i>Proteus vulgaris</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Enterobacter cloacae</i> | AMP, PIP, CAZ, CXM, CTX. | España (Ojer-Usoz <i>et al.</i> , 2013) |
| <i>Salmonella</i> spp. | TET, FFC, AMP, CMP, AMC, EFT, STX, TMP, GEN, CIP. | Colombia (Bermúdez & Rincón 2014) |
| <i>Salmonella</i> spp. | SXT, STR, SPT, TET, AMP, TMP. | Tailandia (Sinwat <i>et al.</i> , 2015) |
| <i>E. coli</i> | AMP, AMC, CXT, CMP STR, KAN, GEN; SXT, TMP; TET; CIP. | República Checa (Skočková <i>et al.</i> , 2015) |
| <i>E. coli</i> | CXT. | Cuba (Marrero <i>et al.</i> , 2017) |
| <i>E. coli</i> <i>Escherichia fergusonii</i> | GEN, CEP, CTX, CIP, AMP. AMP | Alemania (Schill <i>et al.</i> , 2017) |
| <i>Escherichia. cloacae</i> <i>Proteus mirabilis</i> <i>Proteus vulgaris</i> | CTX, CAZ, AMP. CEP, CTX, AMP, CMP, COL. CEP, TGC, AMP, CMP, COL. | |
| <i>E. coli</i> | AMP, TET, AMC, CIP, CMP. | Perú (Ruiz <i>et al.</i> , 2018) |
| <i>E. coli</i> | AMP, AMC, PIP, EPF, TET, GEN, TOB | Tailandia (Lugsomya <i>et al.</i> , 2018) |

β -lactámicos: amoxicilina (AMC), ampicilina (AMP), piperacilina (PIP), cefaclor (CEC), cefoxitina (COX), cefuroxima (CXM), imipenem (IMP), cefotaxima (CXT), ceftiofur (EFT), cefalosporina (CEP). **Cloranfenicol:** cloranfenicol (CMP) **Aminoglucósidos:** gentamicina (GEN), neomicina (NEO), espectinomicina (SPT), estreptomina (STR), tobramicina (TOB), kanamicina (KAN), florfenicol (FFC). **Fluoroquinolonas:** ciprofloxacina (CIP), enrofloxacina (ENR), doxiciclina (DOX). **Antimetabolitos:** sulfametoxazol (SXT), trimetoprima (TMP). **Tetraciclinas:** tetraciclina (TET). **Quinolonas:** lovofoxacina (LEV), ofloxacino (OFX), ácido nalidixico (NAL). **Gliciliciclina:** tigeciclina (TGC). **Ureidopenicilinas:** ceftazidime (CAZ). **Polimixina:** colistina (COL).

2.5 Procesos de industrialización y comercialización de ganado porcino

En México se cuenta con diversas instalaciones diseñadas bajo lineamientos de infraestructura, administración, sistema de sacrificio y manejo higiénico-sanitario de la carne para sacrificio de especies porcinas: Rastro Tipo Inspección Federal (TIF), regulados por el Servicio de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), y los rastros municipales, operan bajo autorización fiscal, estatal o municipal (SIAP, 2020). Aunque, los rastros municipales y particulares pueden o no tener áreas de refrigeración y proveer “carne caliente”, que podría representar un riesgo potencial para el consumidor ante un manejo inadecuado. Además, también se debe considerar la existencia de sacrificio no controlado en rastros clandestinos o *in situ* (OCDE, 2018); es decir, sin las regulaciones adecuadas, considerando lo anterior, no es fácil para el consumidor saber si la carne que adquiere proviene de rastros regulados o clandestinos. Debido a condiciones de manejo durante su sacrificio y/o dentro de la carnicería, representando un potencial riesgo para la salud del consumidor.

2.5.1 Seguridad alimentaria en la carne porcina

El bienestar animal es el reflejo de la salud y condiciones de desarrollo; en la producción animal es primordial atender dicho aspecto que es de interés para los productores y consumidores, para ello es necesario la implementación de buenas prácticas de manejo en toda la cadena productiva, con el fin de controlar las enfermedades infecciosas que ponen en riesgo la salud porcina, por lo consiguiente se debe considerar una mayor sanidad en granjas porcinas, lo que permitirá un mejor manejo y control de patógenos (Rivera-Benites *et al.*, 2021). Para garantizar el bienestar animal, los productores y la industria cárnica deben evitar el sufrimiento y estrés de los animales, desde su cría en las granjas, durante el transporte, manejo ante-mortem y post-mortem, dado que esto evitará la aparición de carne pálida, suave y exudativa (PSE), llamado Síndrome de Estrés Porcino. Así como alteraciones en sus características sensoriales. Dados los efectos negativos en la calidad de la carne de cerdo derivados de una mala

manipulación de animales durante su sacrificio, es indispensable el uso de lugares que cumplan con la normatividad marcadas en rastros municipales o de tipo TIF.

2.5.3 Crianza, sacrificio y distribución de cerdos

Durante el inicio de la crianza de los cerdos, su alimentación desempeña un papel importante, para evitar riesgos a la salud animal y humana. En México, en la Norma Oficial Mexicana NOM-061-ZOO, "Especificaciones Zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo humano" se indica que productos alimenticios terminados, se deben emplear para el consumo animal. En el cuidado de los animales destinados a consumo humano, la sobreexposición a antibióticos tiene posibles efectos adversos a través de la toxicidad directa para los consumidores y a la generación de resistencia microbiana (Chen *et al.*, 2019). Derivado de la presencia de bacterias resistentes a antimicrobianos, en Europa y Estados Unidos se prohibió el uso de antimicrobianos para la promoción del crecimiento animal, en particular, de aquellos que están clasificados como de importancia crítica para el tratamiento de infecciones humanas (Iriti *et al.*, 2020). En México, las especificaciones para el uso de antibióticos en animales se describen en la Norma Oficial Mexicana NOM-064-ZOO-200 referente a los "Lineamientos para la clasificación y prescripción de productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos" que establece los criterios técnicos y científicos de los ingredientes activos que son utilizados en la formulación de productos farmacéuticos veterinarios, para evitar efectos tóxicos en animales.

Comúnmente, el proceso de sacrificio de cerdos se realiza en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), rastros municipales (Tipo Secretaría de Salud "TSS") o rastros privados. Los rastros TIF son aquellos que están sujetos a estándares más estrictos de regulación higiénica y cadena de refrigeración, siendo utilizados principalmente por empresas cárnicas grandes (OCDE, 2018). Sin embargo, los tres sitios de sacrificio deben de cumplir con las regulaciones sanitarias para el manejo de productos de animales, estipuladas en la norma NOM-194-SSA1-2004, la cual tiene como objetivo: establecer las

especificaciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio de sus productos. Adicionalmente, las cadenas de transporte y distribución de productos cárnicos deben de cumplir con la norma NOM-024-ZOO-1995, "Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos". Para ello, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), vigila la estrategia de evaluación de riesgos sanitarios y acciones de manejo en rastros y mataderos, para disminuir riesgos en productos cárnicos.

2.6 Impacto de las enterobacterias en la salud pública

De acuerdo con estimaciones de la OMS en el 2015, las ETAs (provocadas por bacterias, virus, parásitos, toxinas y productos químicos), desencadenan distintas enfermedades a nivel mundial, enfermado anualmente a más de 600 millones de personas, de las cuales 420, 000 fallecieron. Para el caso de América, anualmente se registran más de 77 millones de personas enfermas debido al consumo de carne contaminada con ETAs, de las cuales alrededor de 9,000 fallecen. Entre los patógenos de alimentos que ponen en riesgo la salud, se encuentran las enterobacterias que influyen al desarrollo de enfermedades, se encuentra principalmente *Salmonella* (salmonelosis) y *E. coli*, causantes de problemas gastrointestinales con signos como: náuseas, vómitos, dolores abdominales y diarreas, otros efectos son fiebre, dolores de cabeza (OMS, 2018; Nastasijevic *et al.*, 2020).

A nivel internacional las infecciones causadas por enterobacterias provenientes por el consumo de carne de cerdo representan un grave problema en la salud de los consumidores. En Estados Unidos, el consumo de carne de pollo y cerdo es el que causa más infecciones de salmonelosis (Bonardi, 2017). De acuerdo con Tran *et al.*, 2018, *Salmonella entérica* (*S. entérica*) y algunas cepas de *E. coli* provenientes de cerdos son los principales patógenos intestinales. En Alemania, las autoridades de salud pública

investigaron brotes de salmonelosis durante 2013 y 2014, con base a un análisis de rastreo detectaron a *Salmonella muenchen* (*S. muenchen*) en una granja de cría de cerdos, por lo que fue considerada fuente probable de contaminación. La investigación sugirió que las intoxicaciones fueron a causa del consumo de carne de cerdo cruda y sus derivados, ya que son alimentos tradicionales de algunas regiones de dicho país (Schielke *et al.*, 2017).

En México, un primer estudio informó sobre la gran asociación que existe entre la salmonelosis y la carne de cerdo. Dado que se ha indicado que el consumo de carne de cerdo contaminada con *Salmonella* aumenta el riesgo de intoxicación en personas con tratamientos con medicamentos como antibióticos o antiácidos; así también, la contaminación por salmonelosis se puede dar en trabajadores de granjas y lugares de sacrificios de cerdos (Berends *et al.*, 1998).

Una investigación realizada por Hernández y cols (2011), mostró datos de casos de salmonelosis (paratifoideas y otras enfermedades derivadas de salmonella) en México durante el periodo 2000-2008. En el 2000, se presentaron 10,000 casos, los cuales en ese mismo año empezaron a disminuir, sin embargo, a partir del 2002 al 2007 aumentaron a 12,000 y ligeramente en 2008 empezaron a descender. En el caso de la shigelosis (enfermedad causada por *Shigella*) para finales de 1999 se presentaron 40,000 casos, con una disminución significativa en el periodo 2000-2008, hasta llegar a 10,000 casos, sin embargo, esta cifra se seguía considerando un número de casos alto de acuerdo con lo informado en el boletín de epidemiología de la República Mexicana.

En 2017, en una comunidad rural de Yucatán, México se llevó a cabo un estudio de vigilancia de gastroenteritis causada por *Salmonella*, a través de la cadena alimentaria y por la práctica del consumo de carne de animales, incluyendo cerdo, manipulado en el rastro de sacrificio y de venta en el mercado local. La incidencia de la salmonelosis por 100 lactantes fue de 17.8 casos y en ancianos de 11.7 casos. Adicionalmente, el 23 % de los familiares que padecían gastroenteritis presentaron la enfermedad de manera asintomática (Zaidi *et al.*, 2017).

2.6.1 Buenas prácticas de manejo

2.6.2 *Legislaciones que rigen la industria cárnica porcina*

Para evitar la contaminación de carne de cerdo con patógenos bacterianos dañinos para el ser humano, las buenas prácticas de manejo y vigilancia sanitaria son importantes durante las diferentes etapas de la cadena de producción y distribución (Tang *et al.*, 2017). La carne puede contaminarse desde su origen a causa de enfermedades del animal, por residuos de medicamentos o cuando la flora microbiana del animal sacrificado entra en contacto con la carne, de igual forma puede contaminarse con superficies, equipo, utensilios, agua e incluso las manos de trabajadores que pudieran contener microorganismos patógenos. Para lograr la inocuidad en productos cárnicos, los rastros y mataderos representan un punto estratégico de control (COFEPRIS, 2017). En el caso de México, la vigilancia agroalimentaria, está a cargo del SENASICA y de la SADER, quienes tienen como objetivo monitorear los riesgos en materia agropecuaria, entre otras, además de mantener bajo estricto control la vigilancia de contaminación de los alimentos y la calidad agroalimentaria, en productos de importación y exportación.

3. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de antibióticos y/o plaguicidas para tratar enfermedades y/o proteger de plagas a productos alimenticios para animales de crianza, destinados al consumo humano ha sido inevitable. Sin embargo, el uso frecuente e inadecuado de antibióticos y/o plaguicidas ha tenido como consecuencia la presencia de residuos en ecosistemas terrestres y acuáticos, lo que ha causado una bioacumulación en los diversos animales para consumo humano. Por tal motivo, es de interés sanitario contar con un panorama más amplio en el contenido de residuos de antibióticos y plaguicidas en carne porcina, así como de la prevalencia de microorganismos patógenos, en especial enterobacterias. Por lo cual, en este proyecto, a través de técnicas analíticas y microbiológicas serán evaluadas muestras de carne porcina que se comercializa para consumo humano en tiendas de cadena comercial y carnicerías locales, con el fin de evaluar la presencia de residuos de antibióticos y plaguicidas y la prevalencia de enterobacterias en carne porcina del noreste de la República Mexicana.

4. HIPÓTESIS

La carne cruda de porcino de venta al por menor en tres ciudades de la región noreste de México: Saltillo del estado de Coahuila, Monterrey del estado de Nuevo León y Ciudad Victoria del estado de Tamaulipas, presentará residuos de antibióticos y plaguicidas por encima de los límites máximos permisibles por las legislaciones Oficiales de México, con una alta prevalencia de enterobacterias resistentes a antibióticos.

5. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de residuos de antibióticos plaguicidas y la prevalencia de enterobacterias en carne porcina comercializada para consumo humano en el noreste de México.

5.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los residuos de antibióticos y plaguicidas presentes en carne porcina comercializada en el noreste de México.
2. Cuantificar los residuos de antibióticos y plaguicidas en muestras de carne porcina comercializada en el noreste de México.
3. Determinar a las enterobacterias resistentes a antibióticos en carne de cerdo comercializada en el noreste de México.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Tipo de estudio

El estudio fue exploratorio, analítico y comparativo.

6.2 Muestras de estudio

Se realizó un muestreo de carne molida de porcino, de venta al por menor. Se tomo en cuenta una cuarta parte de comercios de cadena nacional (supermercados) y negocios locales (carnicerías) de tres estados del noreste de México.

6.3 Diseño experimental

Se tomó en cuenta una cuarta parte de cada tipo de tienda (departamentales de cadena comercial y carnicerías locales) por cada ciudad: Victoria, Tamaulipas; Monterrey, Nuevo León y Saltillo, Coahuila (Figura 1).



Figura 1. Localidades del noreste de México (Victoria, Tamaulipas; Monterrey, Nuevo León; y Saltillo, Coahuila) tomadas para muestreo (carne de cerdo).

6.4 Obtención de muestras de carne porcina

Durante el periodo de marzo de 2021 a diciembre de 2022 (datos del mapa INEGI 2021), se obtuvieron muestras de carne molida de cerdo que se presentaron al consumidor en tiendas de supermercados de cadena comercial y carnicerías en Victoria, Tamaulipas; Monterrey, Nuevo León; y Saltillo, Coahuila. Se adquirió una muestra representativa de aproximadamente 500 g, la cual fue colocada individualmente en una bolsa estéril, con su etiquetada correspondiente, posteriormente se almaceno en hielo y se transportó al laboratorio.

6.5 Estándares analíticos y reactivos

Se utilizaron estándares analíticos de antibióticos y plaguicidas (pureza $\geq 97\%$), obtenidos de diferentes fuentes comerciales. Antibióticos: ampicilina (A), sulfametoxazol (SME), trimetoprima (TT) y amikacina (AK) de Sigma Aldrich, Inc. (St. Louis, Missouri, Estados Unidos); y vancomicina (V) de Alfa Aesar (Thermo Fisher Scientific, Haverhill, Massachusetts, Estados Unidos). Tetraciclina (T), estreptomina (S), gentamicina (G), sulfadimetoxina (SD), sulfaquinoxalina (SQ), sulfamerazina (SM), sulfatiazol (ST), sulfapiridina (SP), sulfacloropiridazina (SC), sulfametazina (SMZ). Pesticidas: glifosato (GL), malatión (M), diazinón (DZ), paratión (P), metamidofos (ME), imidacloprid (I) de Chem Service Inc. (660 Tower Ln, West Chester, PA 19381, Estados Unidos). Los reactivos ácido acético, ácido fórmico, metanol y acetonitrilo de calidad HPLC se adquirieron de Tedia Company (1000 Tedia Way, Fairfield, OH 45014, Estados Unidos) y se utilizó agua ultrapura (Milli-Q® System, Millipore).

6.6 Determinación analítica de residuos antibióticos y plaguicidas

6.6.1 Extracción de residuos de plaguicidas y antibióticos

De las muestras de carne molida de cerdo, se tomó 1 g por muestra y fueron agregados 10 mL de ácido acético al 0.5 % en tubos de polipropileno, se agitó vigorosamente por 3 min, enseguida fueron puestos a sonicación a una temperatura de 50 °C por 30 min. La muestra fue filtrada utilizando papel filtro Whatman No. 1, se tomó la fase líquida (extracto) y enseguida los extractos fueron almacenados a -20 °C durante 24 h. Continuando con el proceso de centrifugación a 13,000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se recolectó en un tubo de polipropileno. Los extractos obtenidos se llevaron a -20 °C hasta su uso. Al método se le realizaron ligeras modificaciones (Rabie, Peres y Malcata, 2014; Kivrak y Harmandar, 2016).

Soluciones estándar. Se prepararon soluciones madre individuales de cada uno de los estándares, así como de la mezcla de antibióticos/plaguicidas, a una concentración de 500 µg/mL en acetonitrilo.

6.6.2 *Análisis por cromatografía líquida de ultra rendimiento (UPLC-MS)*

Se filtró 1 mL del extracto con ayuda de un filtro Acrodisc de 0.2 µm y se depositó en un vial de vidrio ámbar de la marca WATERS. Se usó un sistema UPLC-MS acoplado a un detector de masa ACQUITY QDa de Waters (Milford, MA, EE. UU.). El análisis se realizó por medio de una columna ACQUITY UPLC® BEH® C18 1.7 µm, 2.1×100 mm. Fase móvil A: ácido fórmico al 0.1% en agua, fase móvil B: Acetonitrilo, en un gradiente de flujo, inicialmente, el disolvente A constituía el 95% y el disolvente B el 5%. A los 3,5 min, la composición cambió a 80% A y 20% B. A los 5,0 min, la composición cambió aún más a 65% A y 35% B. A los 7,5 min, volvió a 80% A y 20% B. Finalmente, a los 10,0 min, la composición volvió a 95% A y 5%. Tiempo total de ejecución: 10 min; caudal: 0.3 mL/min; volumen de inyección: 3 µL para estándares analíticos y muestra 5 µL; y temperatura de columna 40 °C (Kharbouche *et al.*, 2019).

6.6.3 Cuantificación de ampicilina

Se construyó una curva de calibración para ampicilina utilizando un estándar analítico con ocho concentraciones (0.001, 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 4.0 8.0 y 10.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$), cada concentración se analizó por triplicado. Cada solución (estándar de ampicilina + 1 mL de metanol) se mezcló durante 1 min y luego se filtró usando una membrana de 0.22 μm para transferirlas a viales ámbar estándar para su análisis.

6.7 Determinación de bacterias

6.7.1 Cuantificación de bacterias cultivables resistentes a antimicrobianos

De manera séptica fueron tratadas las muestras de carne, se tomó 25 g y se dispusieron en matraces de vidrio que contenían 225 mL de caldo lactosado, se llevó a incubación de 37 °C con agitación constante por 24 h. Posteriormente, de cada muestra se realizaron diluciones seriadas en solución salina a una concentración de 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 y 10^6 . A partir de las diluciones se evaluó el crecimiento bacteriano en medio sólido (Kirby-Bauer) por medio de difusión en placa, siguiendo los criterios que se describen en el manual del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2021) se hicieron conteos de colonias. Posteriormente, los cultivos frescos se inocularon en placas que contenían agar soya tripticasa (TSA) con y sin antibiótico, para ello se evaluaron aminoglucósidos, estreptomina (STR; 10 μg); para β -lactámicos, ampicilina (AM), 10 μg y para tetraciclinas, tetraciclina (TE), 30 μg (Benson Dickinson) y se fueron incubadas a 37 °C por 24 h. Una vez observado el crecimiento, se consideró para el recuento de colonias aquellas placas que contenían entre 30 y 300 colonias. A partir de los resultados obtenidos en el conteo, se comparó el número de colonias obtenido en placas sin antibiótico contra aquellas placas con los diferentes antibióticos. Se consideraron aislados “resistentes” a las colonias que crecieron en agar con antibiótico.

6.7.2 Identificación bacteriana mediante pruebas bioquímicas

De las colonias resistentes, se seleccionaron al azar de una a tres colonias por placa para su identificación. Cada colonia se inoculó individualmente placa contenida con TSA, y se llevó a Incubación a 37 °C por 24 h., con la finalidad de asegurar que el cultivo se encontrara puro. Una vez observado el crecimiento se procedió a realizar las pruebas bioquímicas en diferentes medios de cultivo, agar citrato de simmons (CS), agar hierro triple azúcar (TSI), Sulfuro - Indol - Movilidad (SIM), para la prueba de indol y producción de ácido sulfúrico, medio movilidad-indol-ornitina (MIO), caldo urea y también caldo MR-VP para rojo de Metilo (MR) y Voges-Proskauer (VP). La identificación de especie fue interpretada mediante los criterios descritos en el manual de Bergey (1994).

6.8 Análisis estadístico

Los datos sobre positividad a antibióticos y plaguicidas entre muestras de carne de cerdo de tiendas minoristas y supermercados en las tres ciudades (Victoria, Tamaulipas; Monterrey, Nuevo León y Saltillo, Coahuila), se colocaron en tablas de contingencia. Para cada una de las sustancias en estudio, se aplicó la prueba exacta de Fisher cuando el número de muestras positivas en la tabla de contingencias era menor a 5, caso contrario fue aplicada la prueba de chi-cuadrada, se consideró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). también, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (KW) para determinar si el tipo de tienda en las dos ciudades mostraba un efecto significativo sobre las concentraciones de ampicilina (A) en la carne de cerdo. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se examinaron con mayor detalle mediante la prueba de rangos con signos de Wilcoxon para comparar las diferencias entre cada tipo de tienda y ciudad. El programa estadístico utilizado fue el software R versión 4.2.3. Además, se hizo un análisis de relación, covarianza y correlación de enterobacterias presentes en muestras de carne de cerdo.

7. RESULTADOS

7.1 Obtención de muestras

De acuerdo con el número de tiendas en existencia (Tabla 4), se consideró el muestreo de la cuarta parte de cada tipo de tienda por ciudad. En total se obtuvieron 149 muestras de carne molida de cerdo, 45.64% (68/149) de Monterrey, Nuevo León, 20.80% (31/149) de Victoria, Tamaulipas, y 33.55% (50/149) de Saltillo, Coahuila. En Monterrey, el 25.0% (17/68) de las muestras fueron de supermercados nacionales y el 75.0% (51/68) de tiendas minoristas. En Victoria, el 19.35% (6/31) de las muestras procedían de supermercados y el 80.64% (25/31) de tiendas minoristas. En Saltillo, el 14.0% (7/50) de las muestras procedían de supermercados y el 86.0% (43/50) de tiendas minoristas. En total, el 20.13% (30/149) fueron de cadenas de supermercados nacionales y el 79.8% (119/149) de comercios minoristas.

Tabla 3. Número de tiendas de cadena comercial y locales existentes en las capitales de tres estados del Noreste de México (INEGI 2021).

| Ciudades | Supermercados | Tiendas minoristas | Total |
|-----------|---------------|--------------------|-------|
| Monterrey | 68 | 202 | 270 |
| Victoria | 24 | 100 | 124 |
| Saltillo | 27 | 170 | 197 |

7.2 Determinación de residuos de antibióticos y plaguicidas

Inicialmente, se optimizaron las condiciones para la detección por UPLC-MS de 15 estándares analíticos de antibióticos y 6 estándares analíticos de plaguicidas. Cada analito fue identificado de acuerdo con su peso molecular y tiempo de retención (min) (Tabla 5). Estos datos fueron empleados para determinar la presencia de antibióticos y plaguicidas en las muestras de carne de cerdo.

Tabla 4. Detección de estándares analíticos de antibióticos y plaguicidas por UPLC-MS.

| Estándar | Analito | Formula molecular | Tiempo de retención (min) | Peso Molecular g/mol | m/z Experiment al [M+H]- | |
|---------------------|---------------------------|--|--|----------------------|--------------------------|---------|
| Antibióticos | | | | | | |
| Beta-lactamas | Ampicilina (A) | C ₁₆ H ₁₉ N ₃ O ₄ S | 4.553 | 349.9 | 350.10 | |
| Tetraciclinas | Tetraciclina (T) | C ₂₂ H ₂₄ N ₂ O ₈ | 4.383 | 444.43 | 445.14 | |
| Aminoglucósidos | Amikacina (AK) | C ₂₂ H ₄₃ N ₅ O ₁₃ | 0.604 | 586.23 | 586.23 | |
| | Ertreptomina (S) | C ₂₁ H ₃₉ N ₇ O ₁₂ | 1.037 | 581.0 | 582.10 | |
| | Gentamicina (G) | C ₂₁ H ₄₃ N ₅ O ₇ | 2.078 | 277.59 | 278.28 | |
| Sulfonamidas | Sulfadimetoxina (SD) | C ₁₂ H ₁₄ N ₄ O ₄ S | 0.741 | 310.33 | 310.99 | |
| | Sulfaquinoxalina (SQ) | C ₁₄ H ₁₂ N ₄ O ₂ S | 6.954 | 300.34 | 301.03 | |
| | Sulfamerazina (SM) | C ₁₁ H ₁₂ N ₄ O ₂ S | 4.138 | 264.31 | 265.12 | |
| | Sulfametoxazol (SME) | C ₁₀ H ₁₁ N ₃ O ₃ S | 5.999 | 253.28 | 254.12 | |
| | Sulfatiazol (ST) | C ₉ H ₉ N ₃ O ₂ S ₂ | 3.458 | 255.3 | 256.06 | |
| | Sulfapiridina (SP) | C ₁₁ H ₁₁ N ₃ O ₂ S | 3.679 | 249.29 | 250.13 | |
| | Sulfacloropiridazina (SC) | C ₁₀ H ₉ ClN ₄ O ₂ S | 5.630 | 284.72 | 284.99 | |
| | Sulfametazina (SMZ) | C ₁₂ H ₁₄ N ₄ O ₂ S | 4.750 | 278.33 | 279.11 | |
| | Diaminopirimidinas | Trimetoprima (TT) | C ₁₄ H ₁₈ N ₄ O ₃ | 4.424 | 290.0 | 291.14 |
| | Glucopéptidos | Vancomicina (V) | C ₆₆ H ₇₅ Cl ₂ N ₉ O ₂₄ | 1.030 | 1449.3 | 725.06* |
| Plaguicidas | | | | | | |
| Organofosforados | Glifosato (GL) | C ₃ H ₈ NO ₅ P | 0.733 | 169.07 | 170.00 | |
| | Malatión (M) | C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂ | 1.640 | 330.63 | 330.93 | |
| | Diazinon (DZ) | C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS | 3.709 | 304.35 | 305.10 | |
| | Paratión (P) | C ₁₀ H ₁₄ NO ₅ PS | 1.533 | 291.3 | 291.23 | |
| | Metamidofos (ME) | C ₂ H ₈ NO ₂ PS | 1.773 | 141.1 | 141.91 | |
| Neonicotinoides | Imidacloprid (I) | C ₉ H ₁₀ ClN ₅ O ₂ | 6.894 | 255.66 | 256.09 | |

7.2.1 *Análisis cualitativo de antibióticos en carne de cerdo*

Los residuos de antibióticos detectados en muestras de carne de cerdo provenientes de supermercados y tiendas minoristas de Monterrey, Victoria y Saltillo se muestran en la Tabla 5. En total, ocho residuos de antibióticos fueron detectados: ampicilina (A), tetraciclina (T), sulfametoxazol (SME), sulfadimetoxina (SD), sulfaquinoxalina (SQ), sulfamerazina (SM), sulfametazina (SMZ) y trimetoprima (TT). Ampicilina (A) fue el antibiótico con la mayor tasa positiva con un 63.75% (95/149). Tetraciclina (T), sulfametoxazol (SM) y sulfametazina (SMZ), tuvieron una tasa positiva alta (> 30%). Los antibióticos menos detectados fueron sulfaquinoxalina (SQ) y trimetoprima con un 16.1% (24/149).

En Monterrey, se detectaron 7 residuos de antibióticos. Encontrando tasa positiva alta para ampicilina (A) en supermercados y tiendas minoristas. Se detectó una tasa positiva baja de sulfadimetoxina (SD). Los otros 5 antibióticos presentaron valores diferentes en ambas tiendas y sólo se detectó trimetoprima (TT) en las tiendas minoristas.

En Victoria, sólo se detectaron 5 residuos de antibióticos. Ampicilina (A) y tetraciclina (T) tuvieron la tasa positiva más alta y similar en supermercados y tiendas minoristas. Sulfamerazina (SM) tuvo el mismo valor en ambas tiendas y se detectó sulfaquinoxalina (SQ) y trimetoprima (TT) en las tiendas minoristas.

En Saltillo, se detectaron 8 residuos de antibióticos. Tetraciclina (T) presentó los valores de positividad más altos en ambas tiendas; seguida de ampicilina (A), sulfadimetoxina (SD) y sulfametazina (SMZ). Se detectó a trimetoprima (TT) en las tiendas minoristas.

Ampicilina fue el antibiótico con los valores de tasa positiva más altos en Victoria y Monterrey, en cambio, en Saltillo fue tetraciclina (T). En las tres ciudades de estudio, coincidió la presencia de trimetoprima (TT) en tiendas minoristas.

Mediante la prueba exacta de Fisher se determinó la frecuencia de muestras positivas, considerando el origen de las muestras en cada ciudad. No hubo diferencias significativas entre supermercados y tiendas minoristas de las ciudades de Monterrey, Victoria y Saltillo para ampicilina (A).

Los supermercados de las tres ciudades evidenciaron una diferencia significativa para tetraciclina (T) y sulfametazina (SMZ). De igual manera en tiendas minoristas (locales), se observó diferencias significativas para tetraciclina (T), sulfadimetoxina (SD) y sulfametazina (SMZ). Las tiendas minoristas (locales) mostraron diferencias significativas para T, SME, SD, SQ y TT en las tres ciudades.

Tabla 5. Detección de residuos de antibióticos en muestras de carne de cerdo de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo detectados por UPLC-MS.

| Ciudad/Origen | Antibióticos | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|----|----|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|----|----|--------------------|-------------------|----|
| | A | T | AK | S | G | SME | SD | SQ | SM | ST | SP | SC | SMZ | TT | V |
| Total, muestras (n= 149) | 63.75% (95/149) | 50.33% (75/149) | ND | ND | ND | 23.48% (35/149) | 26.84% (40/149) | 16.10% (24/149) | 42.95% (64/149) | ND | ND | ND | 39.59% (59/149) | 16.1% (24/149) | ND |
| Monterrey | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supermercados (n= 17) | 64.7% (11/17) | 17.6% (3/17) | ND | ND | ND | 11.76% (2/17) | 23.52% (4/17) | ND | 52.94% (9/17) | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 51) | 49.0% (25/51) | 17.64% (9/51) | ND | ND | ND | 17.64% (9/51) | 5.88% (3/51) | ND | 27.5% (14/51) | ND | ND | ND | 29.4% (15/51) | 9.8% (5/51) | ND |
| Total | 52.9% (36/68) | 17.6% (12/68) | ND | ND | ND | 16.2% (11/68) | 10.29% (7/68) | ND | 33.8% (23/68) | ND | ND | ND | 22.05% (15/68) | 7.35% (5/68) | ND |
| Victoria | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supermercados (n= 6) | 100% (6/6) | 66.7% (4/6) | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 50% (3/6) | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 25) | 68.0% (17/25) | 56.0% (14/25) | ND | ND | ND | ND | ND | 16.0% (4/25) | 52.0% (13/25) | ND | ND | ND | ND | 16% (4/25) | ND |
| Total | 74.19% (23/31) | 58.1% (18/31) | ND | ND | ND | ND | ND | 12.9% (4/31) | 51.6% (16/31) | ND | ND | ND | ND | 12.9% (4/31) | ND |
| Saltillo | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supermercados (n= 7) | 71.42% (5/7) | 85.71% (6/7) | ND | ND | ND | 28.57% (2/7) | 57.14% (4/7) | 14.28% (1/7) | 42.85% (3/7) | ND | ND | ND | 57.14% (4/7) | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 43) | 72.09% (31/43) | 90.69% (39/43) | ND | ND | ND | 51.16% (22/43) | 76.74% (33/43) | 44.18% (19/43) | 51.16% (22/43) | ND | ND | ND | 69.7% (30/43) | 34.88% (15/43) | ND |
| Total | 72% (36/50) | 84% (42/50) | ND | ND | ND | 48% (24/50) | 74% (37/50) | 40% (20/50) | 50% (25/50) | ND | ND | ND | 68% (34/50) | 30% (15/50) | ND |
| F | 1 | 0.5457 | ND | ND | ND | 0.4205 | 0.357 | 0.2192 | 1 | ND | ND | ND | 5.30E-12 | | ND |
| Supermercados | 0.2868 | 0.00256 | ND | ND | ND | 0.469 | 0.015 | 0.4333 | 1 | ND | ND | ND | 0.0313 | ND | ND |
| Valor de <i>p</i> | 0.05656 | 6.2E-13 | ND | ND | ND | 1.5E-06 | 2.2E-16 | 3.1E-08 | 0.02892 | ND | ND | ND | 5.3E-12 | 0.0.113 | ND |
| Tiendas locales | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valor de <i>p</i> | | | | | | | | | | | | | | | |

Ampicilina (A), tetraciclina (T), amikacina (AK), estreptomina (S), gentamicina (G), sulfadimetoxina (SD), sulfaquinoxalina (SQ), sulfamerazina (SM), sulfametoxazol (SME), sulfatiazol (ST), sulfapiridina (SP), sulfacloropiridazina (SC), sulfametazina (SMZ), trimetoprima (TT), vancomicina (V); ^S: comparación de supermercados de Monterrey, Victoria y Saltillo; ^L: comparación de tiendas locales de Monterrey, Victoria y Saltillo. ND: no detectado.

7.2.2 Análisis cualitativo de plaguicidas en carne de cerdo

Los resultados de residuos de pesticidas en la carne de cerdo de Monterrey, Victoria y Saltillo se muestran en la Tabla 7. Solamente se detectó a diazinón (DZ). Con frecuencia de 20.13% (30/149)

En Monterrey, diazinón (DZ) mostraron una tasa positiva similar en ambas tiendas (20.0 y 19.0%.

En Victoria, la presencia de diazinón (DZ) se mantuvo alrededor del 50.0%.

En Saltillo, no se detectó ningún plaguicida.

La prueba exacta de Fisher para muestras positivas en los dos tipos de tiendas de las tres ciudades de estudio se pudieron observar diferencias significativas para diazinón (DZ).

En supermercados de las ciudades de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo. Para diazinón (DZ) si se observó diferencias significativas. De igual manera en tiendas minoristas (locales) diazinón (DZ) presento diferencias significativas.

Tabla 6. Detección de residuos de plaguicidas en muestras de carne de cerdo de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo por UPLC-MS.

| Ciudad/Origen | Pesticidas | | | | | |
|--------------------------------------|------------|----|--------------------|----|----|----|
| | GL | M | DZ | P | ME | I |
| Total muestras (n= 149) | ND | ND | 20.13% (30/149) | ND | ND | ND |
| | | | Monterrey | | | |
| Supermercados (n= 17) | ND | ND | 20% (3/17) | ND | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 51) | ND | ND | 19.61% (10/51) | ND | ND | ND |
| Total | | | 19.1% (13/68) | | | |
| F | ND | ND | 1 | ND | ND | ND |
| | | | Victoria | | | |
| Supermercados (n= 6) | ND | ND | 50.0% (3/6) | ND | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 25) | ND | ND | 56% (14/25) | ND | ND | ND |
| Total | | | 54.8% (17/31) | | | |
| F | ND | ND | 1 | ND | ND | ND |
| | | | Saltillo | | | |
| Supermercados (n= 7) | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Tiendas locales (n= 43) | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Total | | | | | | |
| F | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Supermercados Valor de <i>p</i> | ND | ND | 0.00253 | ND | ND | ND |
| Tiendas locales Valor de <i>p</i> | ND | ND | 0.0009372 | ND | ND | ND |

Glifosato (GL), malation (M), diazinón (DZ), paration (P), metamidofos (ME), imidacloprid (I). ^S: comparación de supermercados de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo; ^L: comparación de tiendas locales de Monterrey, Victoria y Saltillo. ND: no detectado.

7.2.3 Análisis cuantitativo de ampicilina en carne de cerdo

Debido a la alta prevalencia de residuos de ampicilina en muestras de carne de cerdo, se procedió a su cuantificación. En la figura 2, se muestra el cromatograma del estándar de la ampicilina y en la figura 3, se muestra el peso molecular detectado.

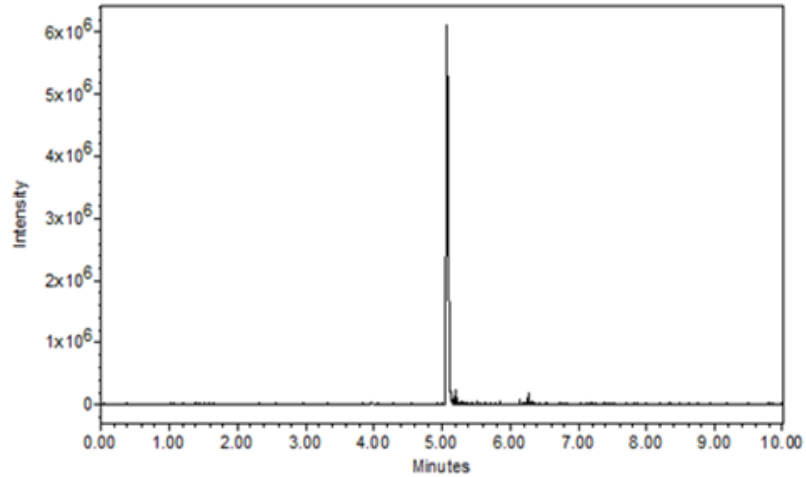


Figura 2. Cromatograma de la ampicilina (A) obtenido por UPLC-MS.

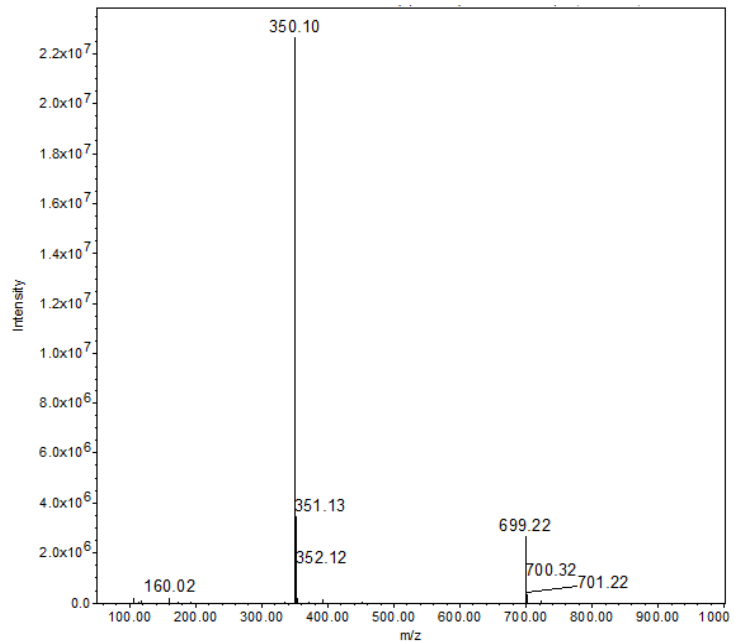


Figura 3. Espectro de fragmentación de la ampicilina (A) obtenido por UPLC-MS.

La curva de calibración de ampicilina (Figura 4), mostró linealidad con un valor de coeficiente de regresión R^2 de 0.9995 y la ecuación $Y = 2E+06X + 162080$. Con dicha fórmula fueron calculadas las concentraciones de ampicilina (A) en las muestras de carne de cerdo.

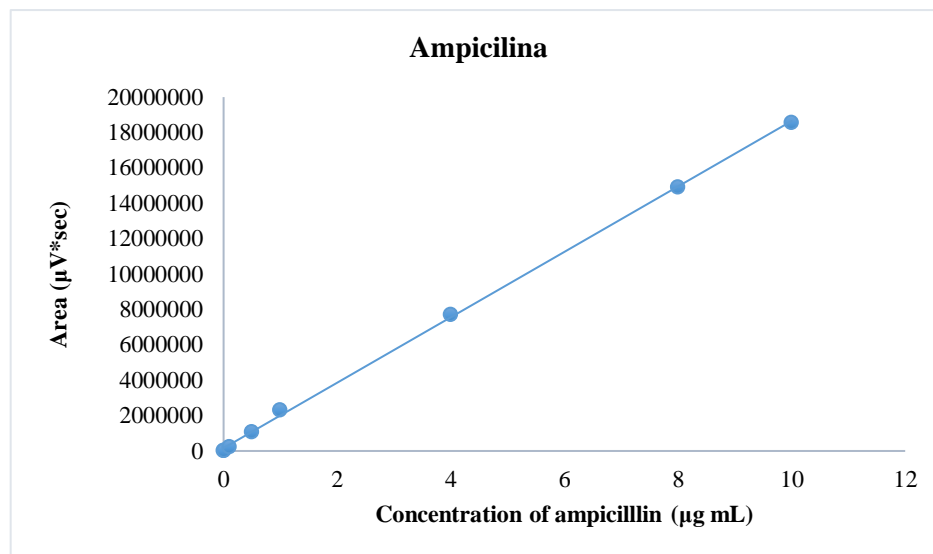


Figura 4. Curva de calibración del estándar de ampicilina (A).

En las tablas 8, 9 y 10 se presentan las concentraciones determinadas de ampicilina (A) en las muestras de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo. Del total de las muestras, el 35.57% (53/149) tuvieron un valor superior a 50 ppb, en muestras de supermercados el 22.64% (12/53) y a tiendas minoristas el 77.35% (41/53). Un análisis comparativo de las tres ciudades demuestra que en supermercados las concentraciones promedio son más bajas en Monterrey y Saltillo, con valores muy similares 175.7237 y 175.61325 ppb, respectivamente, que en Victoria (393.2862 ppb), sin embargo, para tiendas locales las concentraciones promedio fueron de 330.46 versus 669.08 ppb.

En supermercados y tiendas minoristas de Monterrey (Tabla 8), las muestras positivas a ampicilina fueron del 42% (29/68), de las cuales el 46% (12/29) presentaron valores superiores a 50 ppb; en supermercados del 20% (3/17) y en tiendas minorista el 17.64% (9/51). En supermercados las concentraciones medias de ampicilina fueron de 175.7237 ppb en un rango de 17.0125 a 655.9312 ppb. y en tiendas minoristas la media fue de 844.9941 ppb con un rango de 24.89 a 1374.5817 ppb.

Tabla 7. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Monterrey por UPLC-MS.

| Monterrey | | | | | |
|---------------|-------------------|------|-------------------|------|--------------------|
| Supermercados | | | Tiendas locales | | |
| MS1 | 0 | ML1 | 0 | ML27 | 0 |
| MS2 | 59.7837 ± 0.0005 | ML2 | 859.5822 ± 0.0009 | ML28 | 0 |
| MS3 | 118.9235 ± 0.0003 | ML3 | 0 | ML29 | 0 |
| MS4 | 26.9677 ± 0.0034 | ML4 | 0 | ML30 | 24.89 ± 0.0006 |
| MS5 | 0 | ML5 | 0 | ML31 | ≤ 0.1 |
| MS6 | 0 | ML6 | 0 | ML32 | 0 |
| MS7 | 0 | ML7 | 0 | ML33 | 0 |
| MS8 | ≤ 0.1 | ML8 | ≤ 0.1 | ML34 | 0 |
| MS9 | 0 | ML9 | ≤ 0.1 | ML35 | ≤ 0.1 |
| MS10 | ≤ 0.1 | ML10 | 0 | ML36 | ≤ 0.1 |
| MS11 | 0 | ML11 | 0 | ML37 | 0 |
| MS12 | ≤ 0.1 | ML12 | 0 | ML38 | 0 |
| MS13 | ≤ 0.1 | ML13 | 0 | ML39 | ≤ 0.1 |
| MS14 | 17.0125 ± 0.0005 | ML14 | ≤ 0.1 | ML40 | 0 |
| MS15 | ≤ 0.1 | ML15 | ≤ 0.1 | ML41 | 1541.692 ± 0.0162 |
| MS16 | ≤ 0.1 | ML16 | ≤ 0.1 | ML42 | ≤ 0.1 |
| MS17 | 655.9312 ± 0.0161 | ML17 | 0 | ML43 | ≤ 0.1 |
| | | ML18 | 817.5177 ± 0.0058 | ML44 | 1235.0645 ± 0.0189 |
| | | ML19 | 576.158 ± 0.0249 | ML45 | 1374.5817 ± 0.0074 |
| | | ML20 | 359.512 ± 0.0213 | ML46 | 0 |
| | | ML21 | 782.7282 ± 0.0511 | ML47 | 0 |
| | | ML22 | 0 | ML48 | 0 |
| | | ML23 | 878.2152 ± 0.0036 | ML49 | ≤ 0.1 |
| | | ML24 | 0 | ML50 | 0 |
| | | ML25 | ≤ 0.1 | ML51 | ≤ 0.1 |
| | | ML26 | ≤ 0.1 | | |

En Cd. Victoria (Tabla 9), el 66.44% (20/31) de las muestras presentaron valores de concentraciones superiores a 50 ppb; supermercados y tiendas minoristas con un 100% (6/6) y 56% (14/25), respectivamente. Se observó un efecto muy similar en la concentración media de ampicilina en supermercados y tiendas minoristas que fue de 393.2862 ppb (311.5004 a 466.4601 ppb) y 387.2945 ppb (59.7267 a 796.1574 ppb), respectivamente.

Tabla 8. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Cd. Victoria por UPLC-MS.

| Victoria | | | |
|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| Supermercados | | Tiendas locales | |
| VS1 | 412.9169 ± 0.0075 | VL1 | 0 |
| VS2 | 393.368 ± 0.0137 | VL2 | 476.4576 ± 0.0034 |
| VS3 | 311.5004 ± 0.0165 | VL3 | 171.8298 ± 0.0023 |
| VS4 | 466.4601 ± 0.0165 | VL4 | 532.4519 ± 0.0116 |
| VS5 | 456.1997 ± 0.0050 | VL5 | 0 |
| VS6 | 319.2725 ± 0.0207 | VL6 | 0 |
| | | VL7 | 0 |
| | | VL8 | 679.1416 ± 0.0210 |
| | | VL9 | 471.5218 ± 0.0087 |
| | | VL10 | 357.1347 ± 0.0052 |
| | | VL11 | 402.7889 ± 0.0081 |
| | | VL12 | 796.1574 ± 0.0131 |
| | | VL13 | 0 |
| | | VL14 | 0 |
| | | VL15 | 433.0608 ± 0.0040 |
| | | VL16 | 279.9917 ± 0.0011 |
| | | VL17 | 0 |
| | | VL18 | 201.7344 ± 0.0003 |
| | | VL19 | 0 |
| | | VL20 | 0 |
| | | VL21 | 195.329 ± 0.0004 |
| | | VL22 | 0 |
| | | VL23 | 364.797 ± 0.0012 |
| | | VL24 | 0 |
| | | VL25 | 59.7267 ± 0.0010 |

En Saltillo (Tabla 10), el 42% (21/50) de las muestras presentaron valores de concentraciones superiores a 50 ppb; supermercados y tiendas minoristas con el 42.85% (3/7) y 41.86% (18/43), respectivamente. En supermercados las concentraciones medias de ampicilina fueron de 175.6132 ppb en un rango de 141.8631 a 241.2953 ppb. y en tiendas minoristas la media fue de 153.7202 en el rango de 94.1651 a 265.7166 ppb.

Tabla 9. Determinación cuantitativa de ampicilina (ppb) en muestras de carne de cerdo de Saltillo por UPLC-MS.

| Saltillo | | | | | |
|---------------|-------------------|------|--------------------|------|-------------------|
| Supermercados | | | Tiendas locales | | |
| SS1 | 141.8631 ± 0.0009 | SL1 | 265.71665 ± 0081 | SL23 | 96.2069 ± 0.0010 |
| SS2 | ≤ 0.01 | SL2 | 0 | SL24 | 94.1651 ± 0.0015 |
| SS3 | 143.6813 ± 0.0008 | SL3 | 159.9947 ± 0.0009 | SL25 | ≤ 0.01 |
| SS4 | ≤ 0.01 | SL4 | 128.31605 ± 0.0006 | SL26 | 0 |
| SS5 | 241.2953 ± 0.0057 | SL5 | 141.8477 ± 0.0002 | SL27 | 154.5411 ± 0.0021 |
| SS6 | 0 | SL6 | 155.7609 ± 0.0007 | SL28 | 166.7247 ± 0.0001 |
| SS7 | 0 | SL7 | 99.8979 ± 0.0012 | SL29 | ≤ 0.01 |
| | | SL8 | ≤ 0.01 | SL30 | ≤ 0.01 |
| | | SL9 | 152.1303 ± 0.0006 | SL31 | ≤ 0.01 |
| | | SL10 | 211.2060 ± 0.0004 | SL32 | ≤ 0.01 |
| | | SL11 | 167.3955 ± 0.0024 | SL33 | 0 |
| | | SL12 | ≤ 0.01 | SL34 | 0 |
| | | SL13 | ≤ 0.01 | SL35 | 0 |
| | | SL14 | 0 | SL36 | 0 |
| | | SL15 | ≤ 0.01 | SL37 | 0 |
| | | SL16 | 152.8334 ± 0.0017 | SL38 | 0 |
| | | SL17 | 148.0316 ± 0.0009 | SL39 | 0 |
| | | SL18 | 168.3788 ± 0.0007 | SL40 | 0 |
| | | SL19 | 123.5679 ± 0.0011 | SL41 | 0 |
| | | SL20 | ≤ 0.01 | SL42 | 0 |
| | | SL21 | 180.2495 ± 0.0002 | SL43 | 0 |
| | | SL22 | ≤ 0.01 | | |

En las tres ciudades de estudio, las mayores concentraciones de ampicilina se cuantificaron en los comercios minoristas de Monterrey. Por lo tanto, los datos fueron evaluados con la prueba de Kruskal-Wallis seguida de una comparación no paramétrica de medias. Este análisis confirmó las diferencias significativas en las concentraciones de ampicilina en muestras tanto de ciudades como de supermercados y establecimientos minoristas (Figura 5). El análisis estadístico de la comparación de medias de la concentración de ampicilina (A) demuestra que existen diferencias significativas entre supermercados; Monterrey contra Victoria y Victoria contra Saltillo. Las tiendas minoristas presentaron diferencias significativas entre Monterrey y Victoria, así mismo en Victoria y Saltillo. También se observó una alta significancia entre supermercados de Victoria y tiendas minoristas de Saltillo.

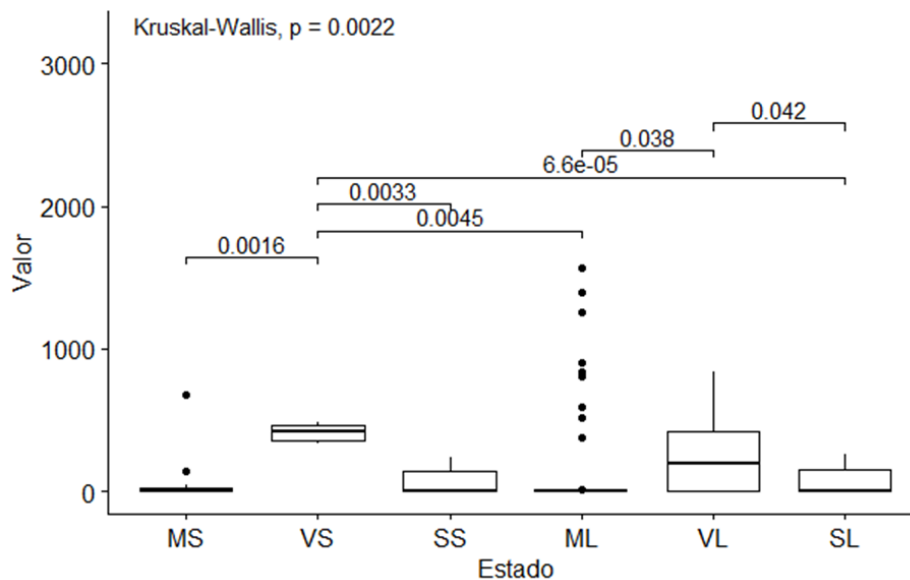


Figura 5. Comparación de las concentraciones de ampicilina encontradas en la carne de cerdo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las tiendas de las dos ciudades. MS: Supermercados Monterrey/S; VS: Victoria/ Supermercados; SS: Saltillo/ Supermercados ML: Monterrey/Tiendas minoristas; VL: Victoria/Tiendas minoristas; SL: Saltillo/Tiendas minoristas.

7.3 Prevalencia de enterobacterias en carne de cerdo

La prevalencia de enterobacterias resistentes a antibióticos en carne de cerdo de las ciudades de Monterrey, Victoria y Saltillo se muestra en la tabla 11 y figura 6. Las bacterias resistentes a tetraciclina presentaron porcentajes muy similares en las tres ciudades, a ampicilina fue relativamente más alta en Saltillo (23%) y menor en Victoria (16.1%) y a estreptomicina se presentó un mayor porcentaje de bacterias resistentes en Monterrey (17.1%).

Tabla 10. Porcentaje (%) de enterobacterias resistentes a tetraciclina, ampicilina, y estreptomicina.

| Antibiótico | Victoria | Monterrey | Saltillo |
|----------------|----------|-----------|----------|
| Tetraciclina | 26.35 | 25.0 | 28.4 |
| Ampicilina | 16.1 | 21.5 | 23.0 |
| Estreptomicina | 11.2 | 17.1 | 11.2 |

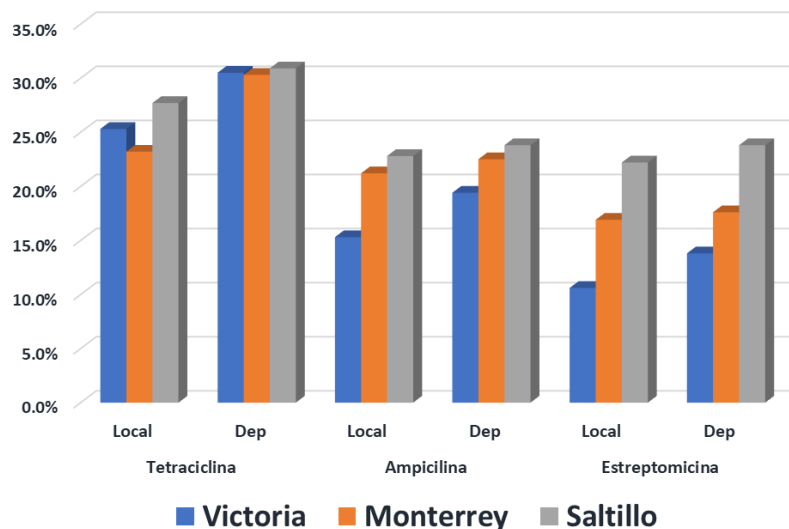


Figura 6. Cuantificación de colonias resistentes a antibióticos.

Del total de las bacterias, fueron identificados 12 géneros y 17 especies tanto en supermercados como en tiendas minoristas de las tres ciudades. Se encontró a *Escherichia coli* como la de mayor prevalencia, seguido de *C. diversus* y *K. pneumoniae* (Figura 7, 8, 9 y 10).

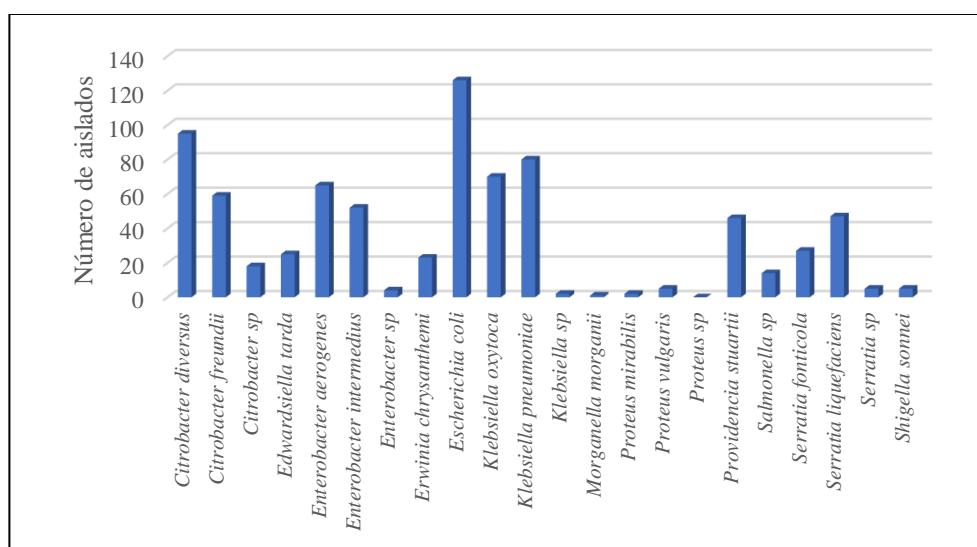


Figura 7. Diversidad de enterobacterias con resistencia a antibióticos.

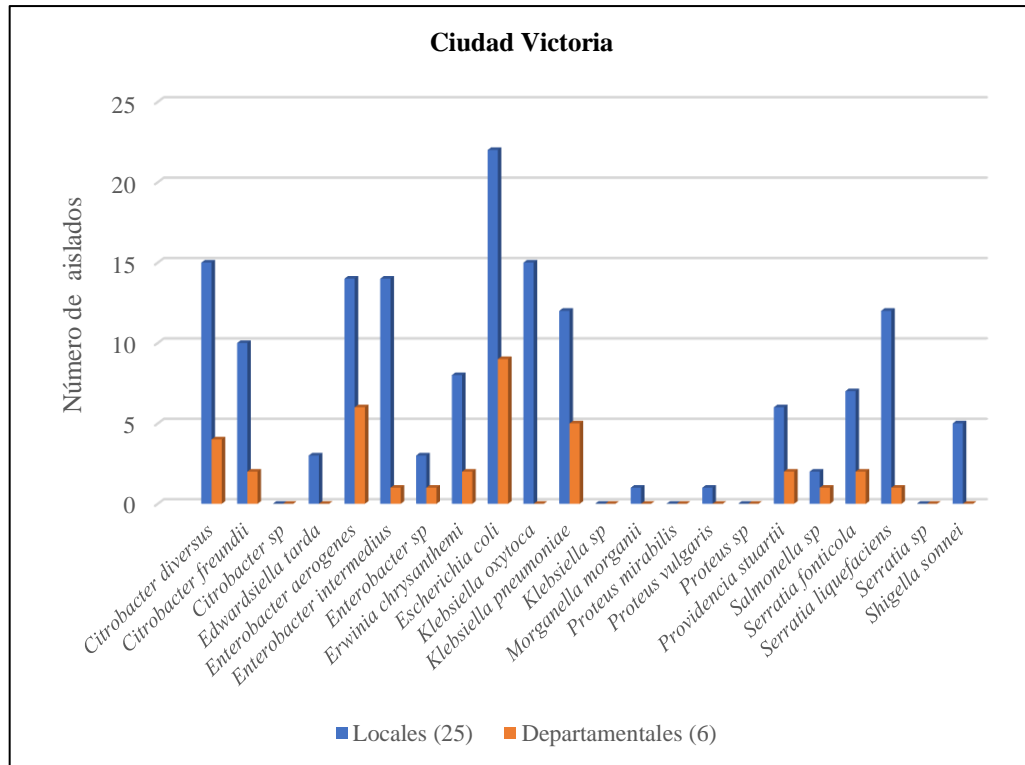


Figura 8. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Cd. Victoria.

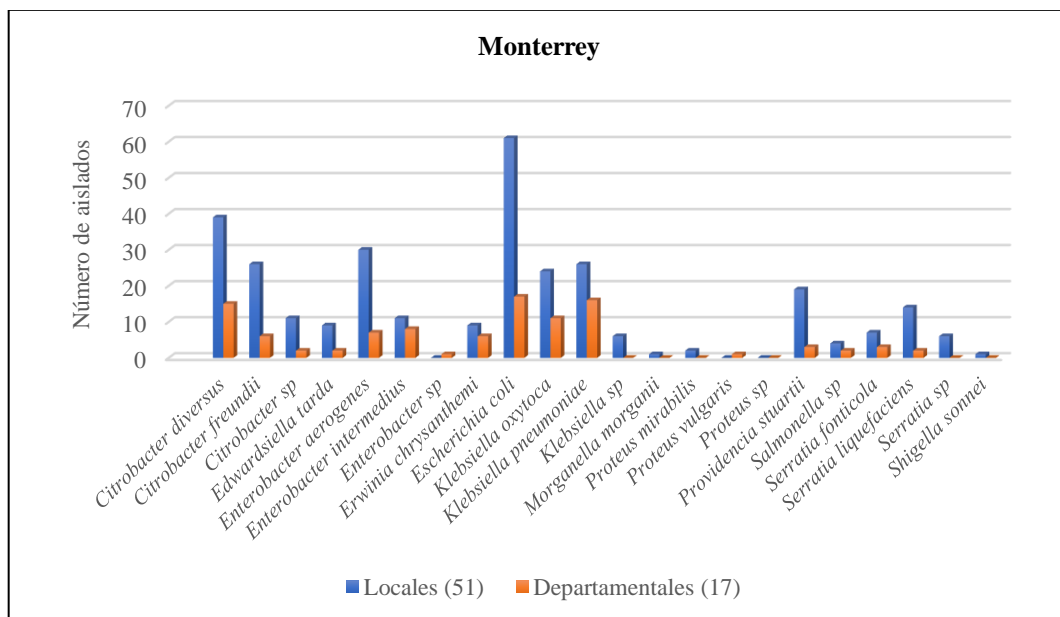


Figura 9. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Monterrey.

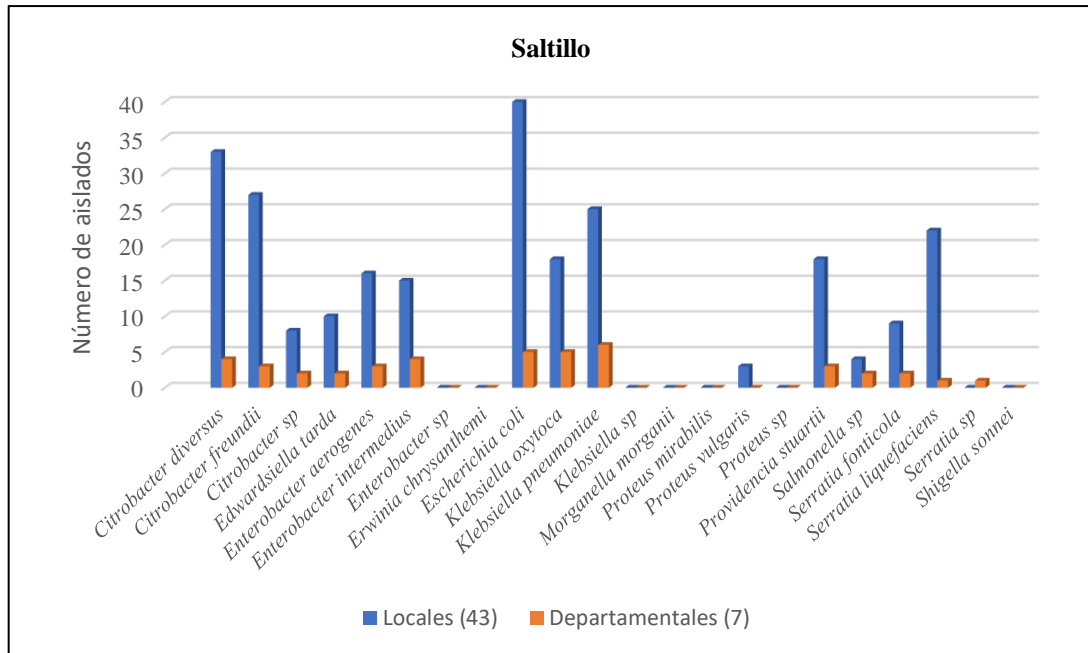


Figura 10. Distribución de enterobacterias en carne de cerdo de tiendas locales y departamentales de Saltillo.

8. DISCUSIÓN

Actualmente, alimentos derivados de animales de crianza para consumo humano, han presentado residuos de antibióticos y otros contaminantes, por lo tanto, en la presente investigación por medio de cromatografía líquida (UPLC-MS), se llevó a cabo la búsqueda de residuos de diversas familias de antibióticos: β -lactámicos (ampicilina); tetraciclinas (tetraciclina); aminoglucósidos (amikacina, estreptomicina y gentamicina); sulfonamidas (Sulfametoxazol, sulfadimetoxina, sulfaquinoxalina, sulfamerazina, sulfatiazol, sulfapiridina, sulfacoloropiridazina y sulfametazina); diaminopirimidinas (Trimetoprima) y glicopéptidos (Vancomicina). La utilización de métodos analíticos de alta eficiencia, resolución y precisión para determinar este tipo de compuestos químicos ha sido de gran ayuda para poder identificar y/o cuantificar residuos o trazas de antibióticos y plaguicidas (Zambrano *et al.*, 2018; Kharbouche *et al.*, 2019). Investigaciones a nivel mundial han hecho uso de estas técnicas analíticas, por ejemplo, Bailón-Pérez *et al.* (2009), emplearon cromatografía líquida de alta resolución acoplada a detector de diodos (HPLC-DAD), para la detección de β -talactámicos tales como; ampicilina, penicilina G y amoxicilina en muestras de leche y carne. Otro trabajo similar es el reportado por Rezende *et al.* (2012), en el que optimizaron un método de UPLC-MS para el análisis de ampicilina y tetraciclina, las cuales tuvieron un tiempo de retención de 3.21 min y 2.93 min, respectivamente. En el estudio de Hamamoto *et al.* (2015), realizaron la inducción directa del estándar ampicilina a huevos de gallina, para confirmar su presencia por medio de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS) con (HPLC) y un espectrómetro cuadrupolo triple (TSQ), determinando ampicilina a los 4.6 min. En el estudio de Liu *et al.* (2019), determinaron a tetraciclina y ampicilina en músculo de pollo y conejo por medio del espectrómetro de masas triple cuadrupolo acoplado a UPLC. Los resultados para tetraciclina presentan una señal de ionización a 445.4 m/s, con un tiempo de retención de 6.0 min, y su patrón de fragmentación mostró picos característicos a 310.0 y 427.2 m/s, para ampicilina se presentó una señal de ionización 350.2 m/s, con un tiempo de retención de 6.11 min, y sus fragmentos identificados correspondieron a masas de 106.0 y 161.0 m/s. Otro estudio realizado en muestras de huevos procedentes tanto de mercados como de granjas avícolas,

por medio de UPLC–MS/MS determinó la presencia y concentración de 21 sulfonamidas en las muestras de huevos analizadas. Estas sulfonamidas incluyeron: sulfadiazina, sulfametoxazol, sulfatiazol, sulfamerazina, sulfafurazol, sulfadimetoxina, sulfadimoxina, sulfametizol, sulfabenzamida, sulfisomidina, sulfametazina, sulfametoxidiazina, sulfametoxipiridazina, sulfamonometoxina, sulfacoloropiridazina, sulfacoloropirazina, sulfaquinoxalina, sulfanitran, sulfafenazol, sulfapirazol y sulfisoxazol (Suo *et al.* 2022).

En este estudio se demostró mediante el análisis cualitativo de antibióticos por UPLC-MS, que muestras de carne de cerdo comercializadas al por menor en Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo, presentaron residuos de diversos antibióticos. Ampicilina (A), tetraciclina (T) y sulfamerazina (SF) fue identificada en supermercados y tiendas minoristas de las tres tiendas. En el caso de trimetoprima (TT), solo fue identificada en tiendas minoristas de las tres ciudades. De los antibióticos derivados de sulfonamidas, en las tiendas locales de Monterrey y Saltillo, se identificó sulfametoxazol (SME) con valores del 16.2% y 48%, respectivamente. De manera similar, un estudio desarrollado en China detectó sulfametoxazol en muestras de cerdo comercializada en supermercados locales (Xie *et al.*, 2012). También, se detectó sulfamerazina (SM) con un promedio mayor al 30% en los dos tipos de tienda de las tres ciudades y sulfametazina (SMZ) con un valor de 68% en supermercados y tiendas minoristas de Saltillo, valores superiores al reportado (23%) por Do *et al.* (2016), en muestras comercializadas al mayoreo en un mercado de Vietnam. En este estudio, los residuos de antibióticos de amikacina (AK), estreptomicina (S), gentamicina (G), sulfatiazol (ST), sulfapiridina (SP), sulfacoloropyridazina (SC) y vancomicina (V), no fueron detectados en ningún tipo de tienda y ciudad. De manera similar, en Grecia Stavroulaki *et al.* (2022) no encontraron residuos de sulfonamidas, estreptomicina y tetraciclina en muestras de carne cruda de cerdo (músculos, hígados y riñones). En otros estudios, se han detectado otro tipo de antibióticos como la oxitetraciclina en el estudio de Wang *et al.* (2022) o ciprofloxacina (9% en riñón y 13% en hígado), estreptomicina (36.3 % en riñón y 4.3 % en hígado), y sulfanilamida (27.7% en riñón y 8.6 en hígado) en el estudio de Ramatla *et al.* (2017). En Italia, determinaron betalactámicos, sulfonamidas y tetraciclinas en carne de cerdo (Moretti *et al.*, 2016). En México, cabe resaltar el estudio realizado por Bermúdez-Almada *et al.* (2001), que

consistió en el análisis de muestras de cerdo (músculo) colectadas en Rastros TIF de la región Noroeste de México, en el cual demostraron la detección de sulfatiazol y sulfamerazina, sugiriendo que la presencia de residuos de antibióticos se debe a dos factores; a) sacrificio de animales recién medicados, b) aplicación de dosis altas y prolongadas.

De la misma manera que los residuos de antibióticos, se hizo la búsqueda de residuos de pesticidas, tales como; glifosato (GL), malation (M), diazinón (DZ), paration (P), metamidofos (ME) e imidacloprid (I) en carne de cerdo de venta en supermercados y tiendas minoristas de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo. El pesticida diazinón (DZ) fue el más frecuente en los dos tipos de tiendas Monterrey y Cd. Victoria. En cambio, Kiranmayi *et al.* (2018), detectaron malatión (M) en carne de cerdo de mataderos y mercados locales en un estado de la República de la India. Los plaguicidas no detectados en ninguna de las muestras fueron glifosato (GL), malation (M), paratión, metamidofos (P) e imidacloprid (I). Aunque, otros estudios han determinado diversos residuos de plaguicidas en alimentos de origen animal, tal como; clorpirifos y fenitrotión en la carne de vacuno y clorpirifos en la carne de cerdo vendida en los mercados coreanos (Kang *et al.*, 2020). En carne de cerdo molida vendida en los mercados locales chinos, se detectaron simultáneamente carbarilo, fenpiroximato, tiametoxam, boscalid y difenoconazol (Song *et al.*, 2020). Cabe mencionar que la acumulación o exposición a plaguicidas se encuentra relacionada con efectos en la salud, por ejemplo; carcinogenicidad, enfermedades neurodegenerativas, infertilidad, malformaciones, trastornos hormonales y alteraciones en el sistema inmunológico (Rodríguez *et al.*, 2022; Palaniyappan *et al.*, 2022; Penagos *et al.*, 2023).

Ampicilina (A) fue el antibiótico que presentó mayores porcentajes de positividad en carne de cerdo de supermercados y tiendas minoristas de Monterrey, Cd. Victoria y Saltillo, por lo cual, se llevó a cabo la determinación de su concentración en las 95 muestras que resultaron positivas. Estas fueron comparadas con los LMR establecidos por SENASICA (2023), teniendo como concentración permitida 50 ppb en tejido porcino (músculo, hígado o riñón). Tomando este valor como referencia, obtuvimos que el 35.57%

(53/149) presentan un valor superior a 50 ppb de las cuales el 22.64% (12/53) pertenecía a supermercados y el 77.35% (41/53) a tiendas minoristas.

En Monterrey, el 50% de los supermercados positivos tuvieron concentraciones que oscilaron entre 18.39 y 655.93 ppb, mientras que las muestras de tiendas minoristas mostraron una mayor variabilidad en las concentraciones, encontrando en algunas muestras concentraciones menores a 0.1 ppb y otras de hasta 1,541 ppb. En Ciudad Victoria, todas las muestras de supermercados excedieron los LMR de ampicilina, y el 44% de las muestras cumplieron con los LMR en tiendas minoristas. Los supermercados tuvieron concentraciones de 311.5004 a 466.4601 ppb, y en comercios minoristas, de 59.7267 a 796.1574 ppb. En Saltillo, las concentraciones encontradas en supermercados fueron de 141.8631 a 241.2953 ppb y en tiendas minoristas fue de 94.1651 a 265.7166 ppb. Estas concentraciones son mucho más altas que en otros estudios. Por ejemplo, Huang *et al.* (2016) cuantificaron ampicilina a concentraciones de 20 y 50 ppb en muestras de músculo de cerdo de supermercados locales en Hangzhou, China. El análisis de residuos de antibióticos en productos animales es vital para garantizar la seguridad alimentaria. Este estudio mostró una prevalencia alarmante de antibióticos en muestras de carne de cerdo, que podrían representar un riesgo potencial para la salud humana.

En esta investigación se encontró en carne de cerdo comercializada en Monterrey, cd. Victoria, y Saltillo bacterias resistentes a tetraciclina, ampicilina y estreptomina. *E. coli* fue la de mayor prevalencia seguido de *C. diversus* y *K. pneumoniae*. Entre los microorganismos catalogados con mayores niveles de resistencia antimicrobiana, se encuentra a *E. coli*, *K. pneumoniae* y *Salmonella* spp. (OMS, 2021). Los alimentos no están exentos de contaminación bacteriana, por ejemplo, los alimentos cárnicos, ya que los patógenos pueden ser adquiridos desde la crianza del animal y/o en la cadena de producción de alimentos (Tang *et al.*, 2017), incluso en alimentos preparados, se da por una mala cocción del alimento, ejemplo de ello son: *E. coli*, *Salmonella* spp. (Chaves *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2018), y *K. pneumoniae*, (Bakhtiary *et al.*, 2016; Tominaga *et al.*, 2018; Ghafur *et al.*, 2019).

9. CONCLUSIONES

A través del desarrollo de este estudio, se determinó que la carne cruda de porcino de venta al por menor en supermercados y tiendas minoristas en tres ciudades (Cd. Victoria, Monterrey y Saltillo) de la región noreste de México, presentó ocho de quince antibióticos analizados, siendo, la carne de supermercados de Cd. Victoria la de menor contaminación ya que se identificaron solamente tres de los ocho antibióticos. Aunque de acuerdo con el análisis estadístico no se presentan diferencias significativas entre tiendas ni ciudades.

El antibiótico con el mayor porcentaje de positividad en las muestras fue Ampicilina (A), con 53 (35.57%) muestras que tuvieron concentraciones que excedieron los LMR (≥ 50 ppb) permitidos según las normas nacionales e internacionales, lo cual representa un riesgo grave a la salud pública.

En relación con los plaguicidas, se lograron determinar un plaguicida de los analizados en carne de supermercados y tiendas minoristas en las tres ciudades. El plaguicida que se detectó con mayor positividad (52.3%) fue diazinón (DZ), con diferencias significativas entre supermercados y entre tiendas minorista. Las tiendas de Monterrey, Nuevo León presentaron el menor número de muestras positivas en tiendas minoristas (23.53%). Estos resultados muestran la alarmante prevalencia de residuos de antibióticos y pesticidas en uno de los alimentos de origen animal más consumidos a nivel nacional y mundial.

Con relación a la presencia de enterobacterias, la mayor prevalencia fue de *E. coli*, *C. diversus* y *K. pneumoniae* resistentes a estreptomicina, ampicilina y tetraciclina en carne de cerdo del noreste de México, lo cual puede estar relacionado a la alta positividad presentada en las muestras por ampicilina. Por lo tanto, este estudio demuestra que es urgente y necesario implementar medidas de control adecuadas y regular el uso de antibióticos y pesticidas en la industria mexicana de alimentos de origen animal.

10. PERSPECTIVAS

-Determinar las concentraciones de glifosato, dado su alta positividad en carne de porcino.

-Explorar en carne de porcino otros antibióticos y plaguicidas.

-Determinar mediante otras técnicas analíticas los residuos de antibióticos y plaguicidas en carne de porcino.

-Analizar otros alimentos de origen animal de mayor consumo en la población mexicana.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Amri, I., Kadim, I. T., AlKindi, A., Hamaed, A., Al-Magbali, R., Khalaf, S., Al-Hosni, K., & Mabood, F. (2021). Determination of residues of pesticides, anabolic steroids, antibiotics, and antibacterial compounds in meat products in Oman by liquid chromatography/mass spectrometry and enzyme-linked immunosorbent assay. *Veterinary world*, *14*(3), 709–720.
- Arcos-Ávila, E. C., Mora-Cardona, L., Fandiño-de Rubio, L. C., and Rondón-Barragán, I. S. 2013. Prevalencia de *Salmonella* spp. en carne porcina, plantas de beneficio y expendios del Tolima. Orinoquia. *17*(1); 59-68.
- Arsène, M. M. J., Davares, A. K. L., Viktorovna, P. I., Andreevna, S. L., Sarra, S., Khelifi, I., & Sergueïevna, D. M. (2022). The public health issue of antibiotic residues in food and feed: Causes, consequences, and potential solutions. *Veterinary world*, *15*(3), 662.
- Bacanlı, M., & Başaran, N. (2019). Importance of antibiotic residues in animal food. *Food and Chemical Toxicology*, *125*, 462-466.
- Bakhtiary, F., Sayevand, H. R., Remely, M., Hippe, B., Hosseini, H., & Haslberger, A. G. (2016). Evaluation of bacterial contamination sources in meat production line. *Journal of food quality*, *39*(6), 750-756.
- Barbosa Da Silva, A., Back, M., Dagher, H., Palmeira, M., Antunes De Sá Ploêncio, L., Molognoni, L., Peripolli, V. & Bianchi, I. (2019). Carry-over and contamination of veterinary drugs in feed production lines for poultry and pigs. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *36*(5), 740-751.

- Bayou, K., & Haile, N. (2017). Review on antibiotic residues in food of animal origin: Economic and public health impacts. *Applied Journal of Hygiene*, 6(1), 1-8.
- Berends, B. R., Van Knapen, F., Mossel, D. A. A., Burt, S. A., and Snijders, J. M. A. 1998. Impact on human health of *Salmonella* spp. on pork in The Netherlands and the anticipated effects of some currently proposed control strategies. *International Journal of Food Microbiology*. 44(3): 219-229.
- Bergey, D. H. & Holt, J. G. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology*.
- Bonardi, S. 2017. *Salmonella* in the pork production chain and its impact on human health in the European Union. *Epidemiology & Infection*. 145(8): 1513-1526.
- Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria (CEDRSSA). 2018. La porcicultura en México. Situación y perspectivas. *Revista cámara*. Pag 1-7.
- Centro para el control y tratamiento de enfermedades (CDC). Microbios y enfermedades transmitidos por los alimentos. [Accessed July-10-2022] 2021. Available in: Available in: <https://www.cdc.gov/foodsafety/es/foodborne-germs-es.html>
- Chen, Q., Pan, X. D., Huang, B. F., Han, J. L., & Zhou, B. (2019). Screening of multi-class antibiotics in pork meat by LC-Orbitrap-MS with modified QuEChERS extraction. *RSC advances*, 9(48), 28119-28125.
- Chen, X., Wu, L., Xie, X., Zhu, D., Wang, J., & Zhang, X. (2016). Influence of pig farmer characteristics on improper use of veterinary drugs. *Tropical animal health and production*, 48(7), 1395-1400.

Cocking, C., Walton, J., Kehoe, L., Cashman, K. D., & Flynn, A. (2020). The role of meat in the European diet: current state of knowledge on dietary recommendations, intakes and contribution to energy and nutrient intakes and status. *Nutrition Research Reviews*, 33(2), 181-189.

Curutiu, C., Lazar, V., & Chifiriuc, M. C. (2017). Pesticides and antimicrobial resistance: from environmental compartments to animal and human infections. In *New Pesticides and Soil Sensors* (pp. 373-392). Academic press.

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Riesgos en Alimentos de Origen Animal: Evaluación de Riesgos en Rastros y Mataderos Municipales. [Accessed May-19-2022] 2017. Available in: Available in: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/riesgos-en-alimentos-de-origen-animal-evaluacion-de-riesgos-en-rastros-y-mataderos-municipales>

Diario Oficial de la Federación. Norma oficial mexicana NOM-092-SSA1-1994, Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal [Accessed June-20-2022]. 1994. Available in: Available in: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203496/NOM-061-ZOO-1999_11102000.pdf

Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995, Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. [Accessed July-01- 2022]. 1995. Available in: Available in: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563482/NOM-024-ZOO-1995_161095.pdf

Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-064-ZOO-2000. Lineamientos para la clasificación y prescripción de productos farmacéuticos veterinarios por el nivel de riesgo de sus ingredientes activos. [Accessed June-25-2022]. 2000. Available in: Available in: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203504/NOM-064-ZOO-2000_270103.pdf

Diario Oficial de la Federación Norma Oficial Mexicana 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. Especificaciones sanitarias de productos. [Accessed June-30-2022]. 2004. Available in: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=661587&fecha=18/09/2004#_gsc.tab=0

Do, M. H. N., Yamaguchi, T., Okihashi, M., Harada, K., Konishi, Y., Uchida, K., Bui, L. T., Nguyen, T. D., Phan, H. B., Bui, H. D. T., Ngunyen, P.D., Kajimura, K., Kumeda, Y., Dang, C. V., Hirata, K. & Yamamoto, Y. (2016). Screening of antibiotic residues in pork meat in Ho Chi Minh City, Vietnam, using a microbiological test kit and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Food Control*, 69, 262-266.

Economou, V., & Gousia, P. (2015). Agriculture and food animals as a source of antimicrobial-resistant bacteria. *Infection and drug resistance*, 8, 49.

Elshamy, A. A., & Aboshanab, K. M. (2020). A review on bacterial resistance to carbapenems: epidemiology, detection and treatment options. *Future science OA*, 6(3), FSO438.

FAO/WHO. (2018). Maximum residue limits (MRLs) and risk management recommendations (RMRs) for residues of veterinary drugs in foods. *Codex Alimentarius: International Food Standards*, 2, 2–26. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1%26url=https/253A/252F/252Fworkspac>

Ghafur, A., Shankar, C., GnanaSoundari, P., Venkatesan, M., Mani, D., Thirunarayanan, M. A., & Veeraraghavan, B. (2019). Detection of chromosomal and plasmid-mediated mechanisms of colistin resistance in *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* from Indian food samples. *Journal of global antimicrobial resistance*, 16, 48-52.

Hamamoto, K.; Akama, R.; Mizuno, Y. Measurement of Ampicillin Residue Levels in Chicken Eggs during and after Medicated Feed Administration by LC-MS/MS. *Food Addit. Contam: Part A* 2015, 32, 1249–1255, doi:10.1080/19440049.2015.1062922.

Hajrulai-Musliu, Z., Uzunov, R., Jovanov, S., Jankuloski, D., Stojkovski, V., Pendovski, L., & Sasanya, J. J. (2021). A new LC–MS/MS method for multiple residues/contaminants in bovine meat. *BMC chemistry*, 15, 1-21.

Haskell KJ, Schriever SR, Fonoimoana KD, Haws B, Hair BB, Wienclaw TM, Holmstead JG, Barboza AB, Berges ET, Heaton MJ, Berges BK (2018) Antibiotic resistance is lower in *Staphylococcus aureus* isolated from antibiotic-free raw meat as compared to conventional raw meat. *PLoS One* 13(12): e0206712.

Hernandez, C. C., Aguilera, A. M. G., and Castro, E. G., C. E. 2011. Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*. 31(4): 137.

Huang, Z.; Pan, X.-D.; Huang, B.; Xu, J.-J.; Wang, M.-L.; Ren, Y.-P. Determination of 15 β -Lactam Antibiotics in Pork Muscle by Matrix Solid-Phase Dispersion Extraction (MSPD) and Ultra-High Pressure Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Food Control*. 2016, *66*, 145–150, doi:10.1016/j.foodcont.2016.01.037.

Hutchings, M. I., Truman, A. W., & Wilkinson, B. (2019). Antibiotics: past, present and future. *Current opinion in microbiology*, *51*, 72-80.

Instituto Nacional de la Economía Social, 2018.
<https://www.gob.mx/inaes/articulos/porcicultura-una-actividad-milenaria?idiom=es>

Información y Servicios del United States Department-USDA. (2023). Top Producing Countries. 2023/2024 Beef Production.
<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0111000>

Información y Servicios del United States Department-USDA. (2023). Top Producing Countries. 2023/2024 Beef Production.
<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0113000>

Jørgensen, P. S., Folke, C., Henriksson, P. J., Malmros, K., Troell, M., & Zorzet, A. (2020). Coevolutionary governance of antibiotic and pesticide resistance. *Trends in ecology & evolution*, *35*(6), 484-494.

Kalyabina, V. P., Esimbekova, E. N., Kopylova, K. V., & Kratasyuk, V. A. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health—a review. *Toxicology reports*, *8*, 1179-1192.

Kang, H. S., Kim, M., Kim, E. J., & Choe, W. J. (2020). Determination of 66 pesticide residues in livestock products using QuEChERS and GC–MS/MS. *Food Science and Biotechnology*, 29(11), 1573-1586.

Kang, H.S.; Kim, M.; Kim, E.J.; Choe, W.-J. Determination of 66 Pesticide Residues in Livestock Products Using QuEChERS and GC–MS/MS. *Food Sci. Biotechnol.* 2020, 29, 1573–1586, doi:10.1007/s10068-020-00798-4.

Katare, B., Wang, H. H., Lawing, J., Hao, N., Park, T., & Wetzstein, M. (2020). Toward optimal meat consumption. *American Journal of Agricultural Economics*, 102(2), 662-680.

Kharbouche, L., García, M. G., Lozano, A., Hamaizi, H., & Galera, M. M. (2019). Solid phase extraction of pesticides from environmental waters using an MSU-1 mesoporous material and determination by UPLC-MS/MS. *Talanta*, 199, 612-619.

Kich, J. D., Souza, A. I., Montes, J., Meneguzzi, M., Costa, E. F., Coldebella, A., Corbellini, L. G. and Cardoso, M. 2020. Investigation of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* and *Yersinia enterocolitica* in pig carcasses in Southern Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 40: 781-790.

Kimera, Z. I., Frumence, G., Mboera, L. E., Rweyemamu, M., Mshana, S. E., & Matee, M. I. (2020). Assessment of drivers of antimicrobial use and resistance in poultry and domestic pig farming in the Msimbazi river basin in Tanzania. *Antibiotics*, 9(12), 838.

Kiranmayi, C. B., Krishnaiah, N., Kumar, M. M., T Subhashini, N., Rao, S., & Rao, T. M. (2018). Detection of organochlorine, organophosphorus and synthetic pyrethroid residues in pork, chicken, fish and fish pond water samples.

- Kivrak, I., KIVRAK, Ş., & Harmandar, M. (2016). Development of a rapid method for the determination of antibiotic residues in honey using UPLC-ESI-MS/MS. *Food Science and Technology*, 36, 90-96.
- LeDoux, M. (2011). Analytical methods applied to the determination of pesticide residues in foods of animal origin. A review of the past two decades. *Journal of chromatography A*, 1218(8), 1021-1036.
- Lekagul, A., Tangcharoensathien, V., & Yeung, S. (2019). Patterns of antibiotic use in global pig production: a systematic review. *Veterinary and animal science*, 7, 100058.
- Leroy, F., Smith, N. W., Adesogan, A. T., Beal, T., Iannotti, L., Moughan, P. J., & Mann, N. (2023). The role of meat in the human diet: evolutionary aspects and nutritional value. *Animal Frontiers*, 13(2), 11-18.
- Li, J. (2017). Current status and prospects for in-feed antibiotics in the different stages of pork production A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 30(12), 1667.
- María del Carmen Bermúdez-Almada, L.M.-V.A.E.-P.A.I.V.-Q. and L.V.-M. Residuos de Sulfonamidas En Musculo de Porcinos Sacrificados En La Region Noroeste de México. *Rev. Cient. Fac. Cien. Vet.* 2001, 11, 127–132.
- Martínez Luis, D., Caamal Cauich, I., Pat Fernández, L. A., Pérez Fernández, A., Torres Tello, G. P., & Anguebes Franceschi, F. (2019). Impacto de los cambios en el ingreso sobre la demanda de carnes en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 511-523.

- Martínez-Vázquez, A. V., Rivera-Sánchez, G., Lira-Méndez, K., Reyes-López, M. Á., & Bocanegra-García, V. (2018). Prevalence, antimicrobial resistance and virulence genes of *Escherichia coli* isolated from retail meat in Tamaulipas, Mexico. *Journal of global antimicrobial resistance*, 14, 266-272.
- Martínez-Vázquez, A. V., Vázquez-Villanueva, J., Leyva-Zapata, L. M., Barrios-García, H., Rivera, G., & Bocanegra-García, V. (2021). Multidrug resistance of *Escherichia coli* strains isolated from bovine feces and carcasses in northeast Mexico. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.
- ihaiu, L., Lapusan, A., Tanasuica, R., Sobolu, R., Mihaiu, R., Oniga, O., and Mihaiu, M. 2014. First study of *Salmonella* in meat in Romania. *The Journal of Infection in Developing Countries*. 8(01): 050-058.
- Mladenović, K. G., Grujović, M. Ž., Kiš, M., Furneg, S., Tkalec, V. J., Stefanović, O. D., and Kocić-Tanackov, S. D. 2021. Enterobacteriaceae in food safety with an emphasis on raw milk and meat. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(23), 8615-8627.
- Moretti, S., Dusi, G., Giusepponi, D., Pellicciotti, S., Rossi, R., Saluti, G., Cruciani, G., & Galarini, R. (2016). Screening and confirmatory method for multiclass determination of 62 antibiotics in meat. *Journal of Chromatography A*, 1429, 175-188.
- Mollenkopf, D. F., Kleinhenz, K. E., Funk, J. A., Gebreyes, W. A., and Wittum, T. E. 2011. *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* harboring bla CMY in retail beef and pork products. *Foodborne Pathogens and Disease*. 8(2): 333-336.

- Muaz, K., Riaz, M., Akhtar, S., Park, S., & Ismail, A. (2018). Antibiotic residues in chicken meat: global prevalence, threats, and decontamination strategies: a review. *Journal of food protection*, 81(4), 619-627.
- Mund, M. D., Khan, U. H., Tahir, U., Mustafa, B. E., & Fayyaz, A. (2017). Antimicrobial drug residues in poultry products and implications on public health: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1433-1446.
- Nastasijevic, I., Schmidt, J. W., Boskovic, M., Glisic, M., Kalchayanand, N., Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., Koohmaraie, M., and Bosilevac, J. M. 2020. Seasonal prevalence of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* on pork carcasses for three steps of the harvest process at two commercial processing plants in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*. 87(1): e01711-20.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD-FAO) Agricultural Outlook 2017-2026: MEATS - OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026. Datos extraídos el 12 de marzo de 2022. <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=76854>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Presentación y evaluación de los datos sobre residuos de plaguicidas para la estimación de los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos. Tercera edición. 1-321.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). Revisado el 24 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/animal-production/es#:~:text=El%20crecimiento%20y%20la%20transformaci%C3%B3n,mejora%20de%20la%20nutrici%C3%B3n%20humana>.

Organización mundial de la salud-Organización panamericana de la salud (OMS-OPS). 2019.

Organizacion para la cooperacion y el Desarrollo Económicos. Estudios de evaluación de competencia de la OCDE: Mexico. Editions OCDE, Paris. [Accessed March-02-202]. 2018. Available in: <https://doi.org/10.1787/9789264287921-es>

Osaili, T. M., Al-Natour, M. Q., Al-Abboodi, A. R., Alkarasneh, A. Y., El Darra, N., Khazaal, S., & Holley, R. (2023). Detection and risk associated with organochlorine, organophosphorus, pyrethroid and carbamate pesticide residues in chicken muscle and organ meats in Jordan. *Food Control*, *144*, 109355.

Palaniyappan, J.; Venugopal, D.; Duraisamy, E.; Beerappa, R. Pesticides and Human Health Implications. In *Pesticides Remediation Technologies from Water and Wastewater*; Elsevier, 2022; pp. 3–21.

Paz-González, A. D., Vázquez, K., Martínez-Vázquez, A. V., Ramírez-Martínez, C., & Rivera, G. (2023). Enterobacteriaceae in Pork Meat: Causal Agents of Public Health Problems. *Biotechnia*, *25*(2), 73-78.

Penagos-Tabares, F.; Sulyok, M.; Faas, J.; Krska, R.; Khiaosa-ard, R.; Zebeli, Q. Residues of Pesticides and Veterinary Drugs in Diets of Dairy Cattle from Conventional and Organic Farms in Austria. *Environ Pollut.* 2023, *316*, 120626. doi:10.1016/j.envpol.2022.120626.

Peruzy, M. F., Houf, K., Joossens, M., Yu, Z., Proroga, Y. T. R., and Murru, N. 2021. Evaluation of microbial contamination of different pork carcass areas

through culture-dependent and independent methods in small-scale slaughterhouses. *International Journal of Food Microbiology*. 336: 108902.

Rabie, M. A., Peres, C. & Malcata, F. X. (2014). Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats. *Meat science*, 96(1), 82-87.

Rahman, M., Hoque, M. S., Bhowmik, S., Ferdousi, S., Kabiraz, M. P., & van Brakel, M. L. (2021). Monitoring of pesticide residues from fish feed, fish and vegetables in Bangladesh by GC-MS using the QuEChERS method. *Heliyon*, 7(3).

Ramadan, H., Jackson, C. R., Frye, J. G., Hiott, L. M., Samir, M., Awad, A., & Woodley, T. A. (2020). Antimicrobial resistance, genetic diversity and multilocus sequence typing of *Escherichia coli* from humans, retail chicken and ground beef in Egypt. *Pathogens*, 9(5), 357.

Ramatla, T., Ngoma, L., Adetunji, M., & Mwanza, M. (2017). Evaluation of antibiotic residues in raw meat using different analytical methods. *Antibiotics*, 6(4), 34.

Rebollar-Rebollar, S., Chiatchoua, C., & Gómez-Tenorio, G. (2019). Efectos de la aplicación de un impuesto en México: caso carne de cerdo. *Análisis económico*, 34(86), 245-261.

Rezende, C.P.; Almeida, M.P.; Brito, R.B.; Nonaka, C.K.; Leite, M.O. Optimisation and Validation of a Quantitative and Confirmatory LC-MS Method for Multi-Residue Analyses of β -Lactam and Tetracycline Antibiotics in Bovine Muscle. *Food Addit. Contam: Part A* 2012, 29, 541–549, doi:10.1080/19440049.2011.627883.

Rivera-Benítez, J. F., Luz-Armendáriz, J. D. L., Gómez-Núñez, L., Diosdado Vargas, F., Escatell Soccì, G., Ramírez-Medina, E., Velázquez-Salinas, L., Ramírez-Mendoza, H., Coba Ayala, M. A., Tufiño-Loza, C., Macías García, M., Carrera-Aguirre, V., Martínez-Bautista, R., Martínez-Mercado, M. J., Santos-López, G., Herrera-Camacho, I., Siañez-Estrada, I., & Zapata Moreno, M. (2021). Salud porcina: historia, retos y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12, 149-185.

Rodrigues, M. de B.; Carvalho, D.S. de; Chong-Silva, D.C.; Urrutia-Pereira, M.; Albuquerque, G.S.C. de; Cieslak, F.; Chong-Neto, H.J. 2022. Association between Exposure to Pesticides and Allergic Diseases in Children and Adolescents: A Systematic Review with Meta-Analysis. *J Pediatr (Rio J.)*, 98, 551–564, doi:10.1016/j.jpmed.2021.10.007.

Rondón-Barragán, I. S., Arcos, E. C., Mora-Cardona, L., and Fandiño, C. 2015 Characterization of *Salmonella* species from pork meat in Tolima, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 28(1): 74-82.

Rönnqvist, M., Välttilä, V., Ranta, J., and Tuominen, P. 2018. Salmonella risk to consumers via pork is related to the Salmonella prevalence in pig feed. *Food in Microbiology*. 71: 93-97

Ruiz-Roldán, L., Martínez-Puchol, S., Gomes, C., Palma, N., Riveros, M., Ocampo, K., Durand, D., Ochoa, T. J., Ruiz, J. and Pons, M. J. 2018. Presencia de Enterobacteriaceae y *Escherichia coli* multirresistente a antimicrobianos en carne adquirida en mercados tradicionales en Lima. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 35: 425-432.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Escenario mensual de productos agroalimentarios. 2022. Consultado el 25 de octubre de 2022. Disponible:

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732604/Carne de porcino Mayo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732604/Carne_de_porcino_Mayo.pdf)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/tipos-de-granjas-porcinas?idiom=es>. Revisado 03 de septiembre de 2022.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp . Consultada el día: 15 de marzo de 2021.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cerdo-base-culinaria-en->. Revisado 03 de septiembre de 2022.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2023). Tabla de Límites Máximos de Residuos 2023. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/limites-maximos-de-residuos-toxicos-y-contaminantes>

Scheinberg, J. A., Dudley, E. G., Campbell, J., Roberts, B., DiMarzio, M., DebRoy, C., and Cutter, C. N. 2017. Prevalence and phylogenetic characterization of *Escherichia coli* and hygiene indicator bacteria isolated from leafy green produce, beef, and pork obtained from farmers' markets in Pennsylvania. *Journal of Food Protection*. 80(2): 237-244

- Schill, F., Abdulmawjood, A., Klein, G., and Reich, F. 2017. Prevalence and characterization of extended-spectrum β -lactamase (ESBL) and AmpC β -lactamase producing Enterobacteriaceae in fresh pork meat at processing level in Germany. *International Journal of Food in Microbiology*. 257: 58-66.
- Schielke, A., Rabsch, W., Prager, R., Simon, S., Fruth, A., Helling, R., Schnabel, M., Siffczyk, C., Wieczorek, S., Schroeder, S., Ahrens, B., Oppermann, H., Pfeiffer, S., Merbecks, S, S., Rosner, B., Frank, C., Weiser, A, A ., Luber, P., Gilsdorf, A., Stark, K. and Werber, D. 2017. Two consecutive large outbreaks of Salmonella Muenchen linked to pig farming in Germany, 2013 to 2014: Is something missing in our regulatory framework? *Eurosurveillance*. 22(18): 30528.
- Smith, N. W., Fletcher, A. J., Hill, J. P., & McNabb, W. C. (2022). Modeling the contribution of meat to global nutrient availability. *Frontiers in Nutrition*, 9, 766796.
- Song, L.; Pan, C.; Yang, J.; Zeng, S.; Han, Y. Dual-layer Column Filtration Cleanup and Gas Chromatography-tandem Mass Spectrometry Detection for the Analysis of 39 Pesticide Residues in Porcine Meat. *J. Sep. Sci.* 2020, 43, 1306–1315, doi:10.1002/jssc.201900850.
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W., Polachek, A. J., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J. D., and Ghali, W. A. 2017. Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*. 1(8): e316-e327.

- Tran, T. H. T., Everaert, N., and Bindelle, J. 2018. Review on the effects of potential prebiotics on controlling intestinal enteropathogens *Salmonella* and *Escherichia coli* in pig production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 102(1): 17-32.
- Stavroulaki, A., Tzatzarakis, M. N., Karzi, V., Katsikantami, I., Renieri, E., Vakonaki, E., Avgenaki, M., Alegakis, A., Stan, M., Kavvalakis, M., Rizos, A. K. & Tsatsakis, A. (2022). Antibiotics in Raw Meat Samples: Estimation of Dietary Exposure and Risk Assessment. *Toxics*, 10(8), 456.
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W., Polachek, A. J., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J. D., Ghali, W. A. (2017). Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(8), e316-e327.
- Tiseo, K., Huber, L., Gilbert, M., Robinson, T. P., & Van Boeckel, T. P. (2020). Global trends in antimicrobial use in food animals from 2017 to 2030. *Antibiotics*, 9(12), 918.
- Tominaga, T. (2018). Rapid detection of *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Raoultella ornithinolytica* and other related bacteria in food by lateral-flow test strip immunoassays. *Journal of microbiological methods*, 147, 43-49.
- Tuyet-Hanh, T. T., Sinh, D. X., Phuc, P. D., Ngan, T. T., Van Tuat, C., Grace, D., Unger, F., & Nguyen-Viet, H. (2017). Exposure assessment of chemical hazards in pork meat, liver, and kidney, and health impact implication in Hung Yen and

Nghe An provinces, Vietnam. *International Journal of Public Health*, 62(1), 75-82.

Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., ... & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5649-5654.

Van, T. T. H., Yidana, Z., Smooker, P. M., & Coloe, P. J. (2020). Antibiotic use in food animals worldwide, with a focus on Africa: Pluses and minuses. *Journal of global antimicrobial resistance*, 20, 170-177.

Ventola CL (2015) The antibiotic resistance crisis. Part 1: causes and threats. *PT* 40: 277–283.

Villalpando-Guzmán, S., Vázquez-Quiñones, C. R., Natividad-Bonifacio, I., Quiñones-Ramírez, E. I., and Vázquez-Salinas, C. 2016. Prevalence of Salmonella in Chicken, Beef and Pork Meat in Mexico City. *Academia Journal of Microbiology Research* 4(10): 125-130.

Wang, G., Wang, B., Zhao, X., Xie, X., Xie, K., Wang, X., Zhang, G., Xhang, T., Liu, X & Dai, G. (2019). Determination of thiamphenicol, florfenicol and florfenicol amine residues in poultry meat and pork via ASE-UPLC-FLD. *Journal of Food Composition and Analysis*, 81, 19-27.

WHO. Antibiotic resistance: global report on surveillance. Hilary Cadman, Lindsay Martinez; 2014. Available from: noviembre 2021.

Xie, W.; Han, C.; Hou, J.; Wang, F.; Qian, Y.; Xi, J. Simultaneous Determination of Multiveterinary Drug Residues in Pork Meat by Liquid Chromatography-Tandem

Mass Spectrometry Combined with Solid Phase Extraction. *J Sep Sci.* 2012, 35, 3447–3454, doi:10.1002/jssc.201200407.

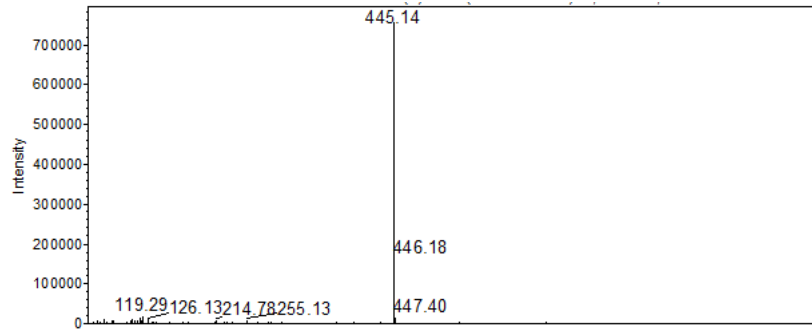
Zambrano, P. E. L. R., Blanco, J. A. E., Conte-Junior, C. A., & de la Torre, C. A. L. (2018). Determinación de residuos de antibióticos veterinarios en productos de origen animal mediante cromatografía líquida. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 6(2), 122-136.

Zhao, W., Jiang, R., Guo, W., Guo, C., Li, S., Wang, J., Wang, S. & Li, Y. (2021). Screening and Analysis of Multiclass Veterinary Drug Residues in Animal Source Foods using UPLC-Q-Exactive Orbitrap/MS. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 107(2), 228-238.

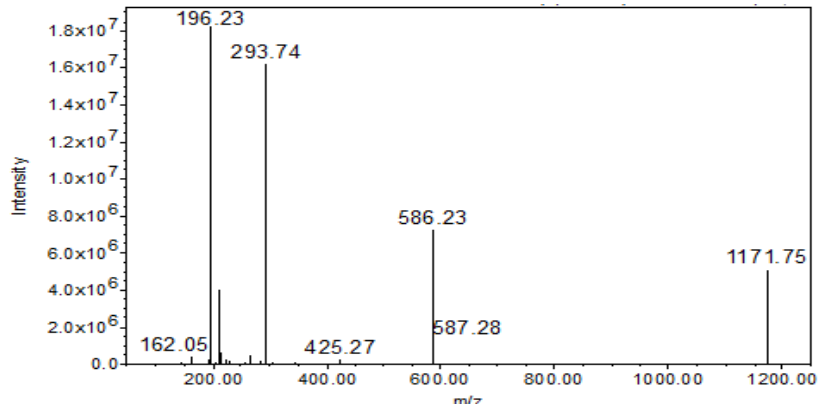
Zhao, Y., Zhao, P., Wang, Y., & Qi, W. J. (2014). Isolation, identification, and characterization of an organophosphorous pesticide degrading bacterium, *Enterobacter ludwigii* M2. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1051, pp. 398-403).

ANEXOS

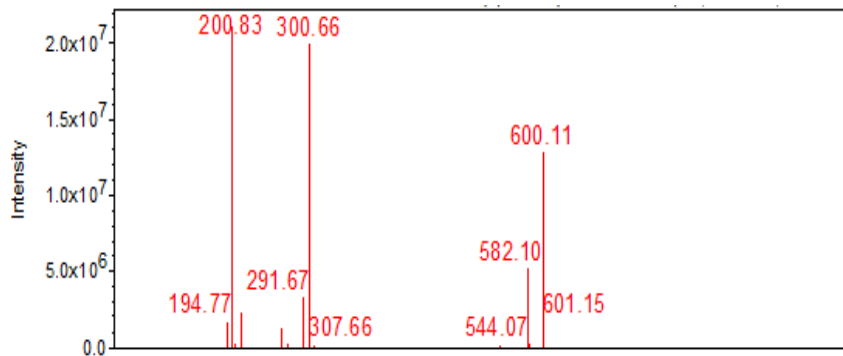
A.1 Espectro de fragmentación de la tetraciclina obtenido por UPLC-MS.



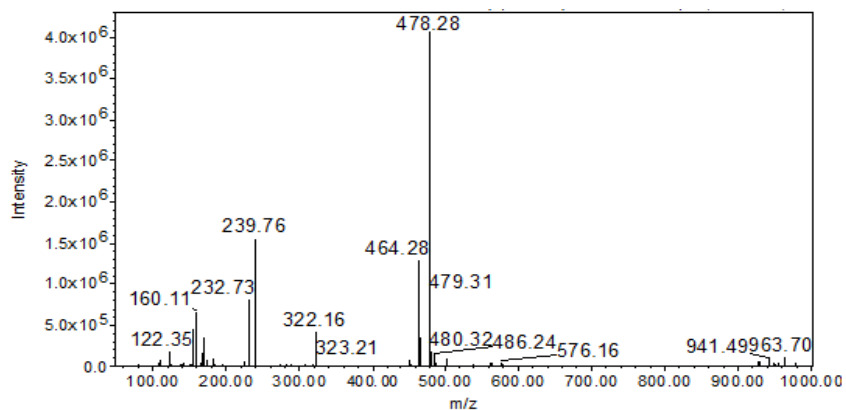
A.2 Espectro de fragmentación de la amikacina obtenido por UPLC-MS.



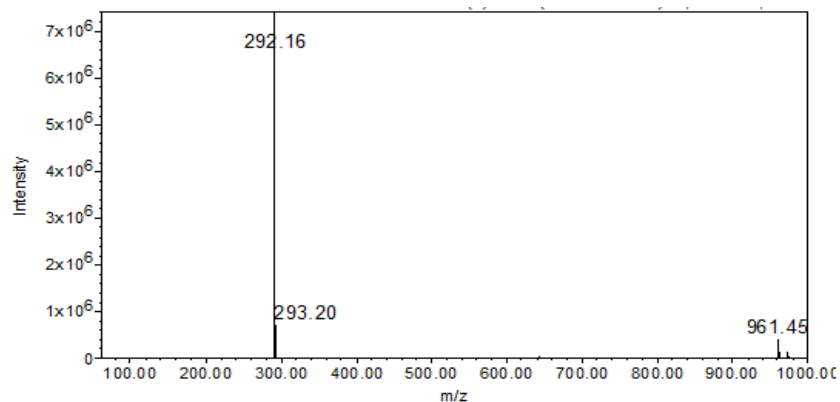
A.3 Espectro de fragmentación de la estreptomicina obtenido por UPLC-MS.



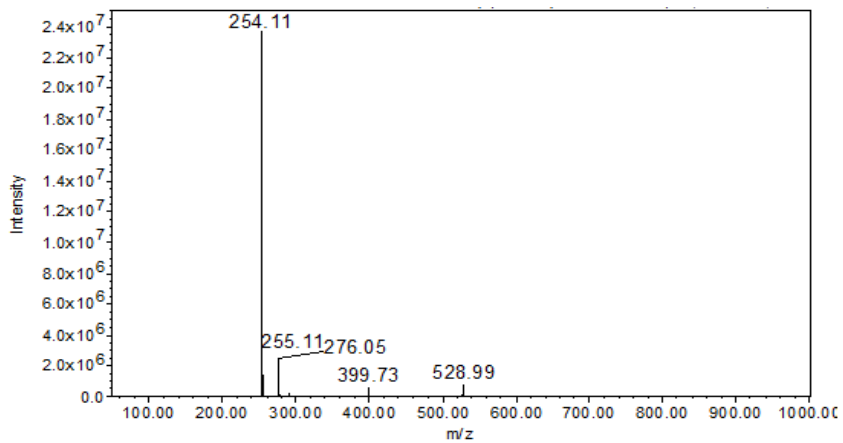
A.4 Espectro de fragmentación de la gentamicina obtenido por UPLC-MS.



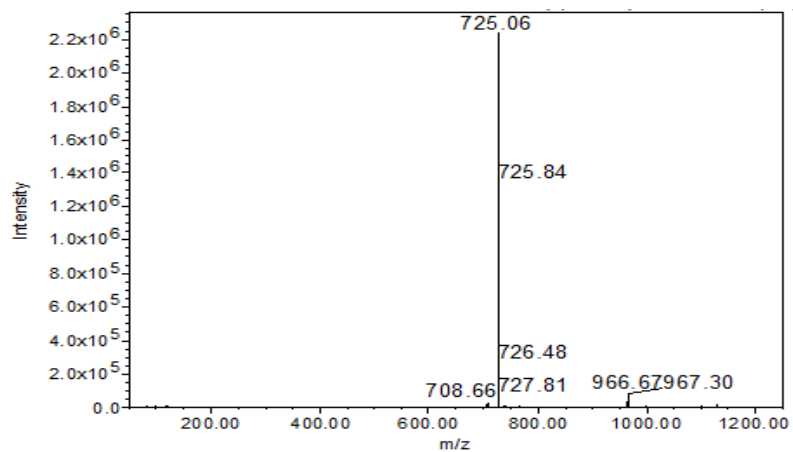
A.5 Espectro de fragmentación de la trimetoprima obtenido por UPLC-MS.



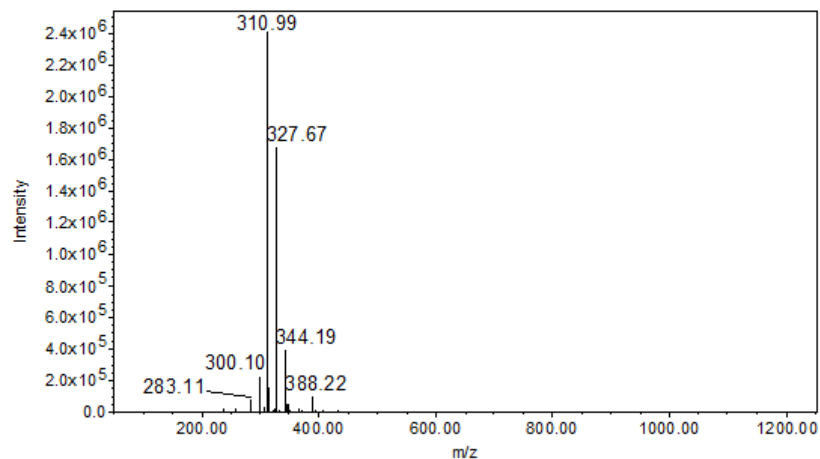
A.6 Espectro de fragmentación del sulfametoxazol obtenido por UPLC-MS.



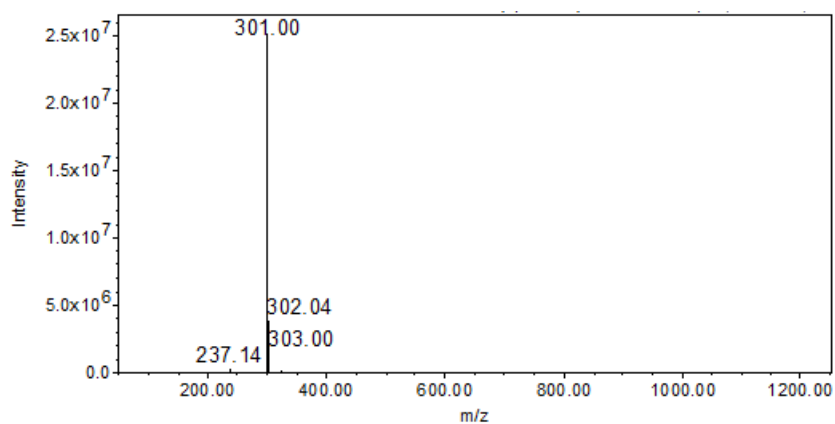
A.7 Espectro de fragmentación de la vancomicina obtenido por UPLC-MS.



A.8 Espectro de fragmentación de la sulfadimetoxina obtenido por UPLC-MS.



A.9 Espectro de fragmentación de la sulfaquinoxalina obtenido por UPLC-MS.



A.10 Espectro de fragmentación de la sulfamerazina obtenido por UPLC-MS.

