



Estudio microbiológico del pollo congelado expandido en Machala con identificación de *Escherichia coli*

Microbiological study of frozen chicken sold in Machala with identification of *Escherichia coli*

Estudo microbiológico de frango congelado vendido em Machala com identificação de *Escherichia coli*

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.416>

Carmen Elizabeth Silverio Calderon

csilverio@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador

RESUMEN

Escherichia coli (*E. coli*) representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria, especialmente en productos cárnicos como el pollo congelado. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la calidad microbiológica del pollo congelado expandido en un supermercado de Machala mediante la identificación de *E. coli*. Se analizaron 62 muestras de pollo congelado obtenidas de un supermercado local, aplicando técnicas microbiológicas estándar según las normativas NTE INEN 1529-8 y ISO 6887-1. Se empleó la técnica del Número Más Probable (NMP), cultivos en medios selectivos (Agar EC, Caldo EC), tinción de Gram y pruebas bioquímicas específicas para la identificación de *E. coli*. Los resultados revelaron temperaturas de almacenamiento adecuadas (promedio $-17.8^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$), cumpliendo con los estándares de congelación. El análisis microbiológico mediante NMP mostró que 24 de las 62 muestras (38.7%) presentaron contaminación microbiológica con valores ≤ 15 NMP/g, considerándose dentro de los límites aceptables según normativas internacionales. No se detectó presencia de *E. coli* patógena en ninguna de las muestras analizadas, lo que indica un manejo higiénico adecuado del producto. Estos hallazgos sugieren que el pollo congelado comercializado en Machala cumple con los estándares microbiológicos de seguridad alimentaria, aunque se requieren controles continuos para mantener esta calidad.

Palabras clave: Análisis microbiológico; *Escherichia coli*; Calidad; Pollo congelado; Seguridad alimentaria; Técnicas NMP; Sanitaria

ABSTRACT

Escherichia coli (*E. coli*) poses a significant threat to food safety, especially in meat products such as frozen chicken. This study aimed to determine the microbiological quality of frozen chicken sold in a supermarket in Machala by identifying *E. coli*. Sixty-two samples of frozen chicken obtained from a local supermarket were analyzed using standard microbiological techniques according to NTE INEN 1529-8 and ISO 6887-1 standards. The Most Probable Number (MPN) technique, cultures on selective media (EC Agar, EC Broth), Gram staining, and specific biochemical tests were used for the identification of *E. coli*. The results revealed adequate storage temperatures (average $-17.8^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$), meeting freezing standards. Microbiological analysis using MPN showed that 24 of the 62 samples (38.7%) presented microbiological contamination with values ≤ 15 MPN/g, considered within acceptable limits according to international standards. No pathogenic *E. coli* was detected in any of the analyzed samples, indicating proper hygienic handling of the product. These findings suggest that the frozen chicken sold in Machala meets microbiological food safety standards, although continuous monitoring is required to maintain this quality.

Key words: Microbiological analysis; *Escherichia coli*; Quality; Frozen chicken; Food safety; MPN techniques; Sanitation

RESUMO

A *Escherichia coli* (*E. coli*) representa uma ameaça significativa à segurança alimentar, especialmente em produtos cárneos como o frango congelado. Este estudo teve como objetivo determinar a qualidade microbiológica do frango congelado comercializado em um supermercado em Machala, por meio da identificação de *E. coli*. Sessenta e duas amostras de frango congelado, obtidas em um supermercado local, foram analisadas utilizando técnicas microbiológicas padrão, de acordo com as normas NTE INEN 1529-8 e ISO 6887-1. A técnica do Número Mais Provável (NMP), culturas em meios seletivos (Ágar EC, Caldo EC), coloração de Gram e testes bioquímicos específicos foram utilizados para a identificação de *E. coli*. Os resultados revelaram temperaturas de armazenamento adequadas (média de $-17,8^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$), atendendo aos padrões de congelamento. A análise microbiológica utilizando o NMP mostrou que 24 das 62 amostras (38,7%) apresentaram contaminação microbiológica com valores ≤ 15 NMP/g, considerados dentro dos limites aceitáveis de acordo com as normas internacionais. Nenhuma bactéria *E. coli* patogênica foi detectada em nenhuma das amostras analisadas, indicando o manejo higiênico adequado do produto. Esses resultados sugerem que o frango congelado comercializado em Machala atende aos padrões de segurança microbiológica de alimentos, embora o monitoramento contínuo seja necessário para manter essa qualidade.

Palavras-chave: Análise microbiológica; *Escherichia coli*; Qualidade; Frango congelado; Segurança alimentar; Técnicas de NMP; Sanitização

INTRODUCCIÓN

La inocuidad alimentaria surge como un pilar fundamental de la salud pública a nivel global. De acuerdo con estimaciones recientes, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cada año, casi una de cada diez personas en el mundo enferma tras consumir alimentos contaminados, y 420,000 mueren por esta causa, destacando que, los niños menores de 5 años constituye el grupo más vulnerable (1). Las enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) no solo representan una carga significativa para los sistemas de salud, sino que también imponen costos económicos sustanciales debido a la pérdida de productividad, el cierre de comercios y el impacto en el turismo y las exportaciones (1).

En este marco, la carne de aves de corral, y en particular la de pollo, es uno de los productos de mayor consumo mundial y, simultáneamente, uno de los vehículos más comunes para patógenos bacterianos (2). Cabe destacar que su producción y cadena de suministro, desde la granja hasta el consumidor final, presentan múltiples puntos críticos donde puede ocurrir la contaminación.

Entre los agentes patógenos de mayor relevancia sanitaria en la industria avícola, se encuentra *Escherichia coli*. Aunque la mayoría de las cepas de *E. coli* son comensales inofensivas del tracto intestinal de humanos y animales, ciertos serotipos son virulentos y pueden causar graves enfermedades (3). En particular, las cepas

de *E. coli* patógenas se clasifican en patotipos, como *E. coli* productora de toxina Shiga (STEC), una de las más peligrosas, causante de colitis hemorrágica y el síndrome urémico hemolítico (SUH), una afección potencialmente mortal que puede provocar insuficiencia renal aguda, especialmente en niños (4). Desde una perspectiva técnica, la contaminación de la carne de pollo con *E. coli* fecal suele ocurrir durante el procesamiento, especialmente en la etapa de evisceración, donde el contenido intestinal puede entrar en contacto con la canal. Adicionalmente, la contaminación cruzada a través de equipos, superficies, manos de operarios o agua no potable contribuye a agravar el problema (5).

A nivel internacional, la vigilancia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal y como patógeno directo es una práctica estándar. Estudios en diversas partes del mundo han reportado prevalencias variables de *E. coli* en carne de pollo. Por ejemplo, investigaciones en Europa han mostrado tasas de contaminación que oscilan entre el 20% y el 80% en pollos frescos vendidos al por menor, dependiendo del país y la metodología de análisis (6).

En el contexto latinoamericano, la situación presenta características similares. Estudios en países como Brasil, Colombia y Perú que reportan hallazgos significativos de *E. coli*, incluyendo cepas con perfiles de resistencia a múltiples antibióticos, lo que añade una capa de complejidad al problema

de salud pública (7,8). Si bien, la congelación es un método de conservación efectivo que inhibe la proliferación bacteriana, es preciso señalar que no elimina los microorganismos presentes. Patógenos como *E. coli* pueden sobrevivir a temperaturas de congelación durante largos períodos, representando un riesgo latente que se activa al momento del descongelamiento si no se siguen prácticas de cocción adecuadas (9).

En línea con esta problemática, investigaciones recientes refuerzan la relevancia de este problema. Un estudio en Irak realizado por Abdlla y Al-Sanjary (10) detectó una alta prevalencia de *E. coli* en carne de pollo, con un 40% de los aislados mostrando resistencia a múltiples fármacos. En Cuba, Águila Sánchez et al. (2020) identificaron *E. coli* en el 100% de las canales de pollos de engorde post-beneficio, subrayando la contaminación durante el procesamiento (11). De manera similar, Swetcha et al. (2023) en India encontraron que el 60% de las muestras de carne de pollo cruda estaban contaminadas con *E. coli*, con una alarmante tasa de resistencia a múltiples antibióticos (12). Finalmente, un estudio en Egipto por Mahmoud et al. (2022) no solo confirmó la presencia de *E. coli* productora de toxinas Shiga (STEC) en carne de pollo, sino que también secuenció su genoma, revelando genes de virulencia y resistencia que representan un grave riesgo para la salud pública (13). Estos antecedentes internacionales, que evidencian una

alta prevalencia y creciente farmacorresistencia, consolidan la urgencia de una vigilancia continua y contextualizada.

En este sentido, la importancia del presente estudio radica en su capacidad para cerrar una brecha crítica de información a nivel local. En la ciudad de Machala, un importante centro urbano y comercial del sur de Ecuador, no existían hasta la fecha estudios sistemáticos publicados que evaluaran la calidad microbiológica de los pollos congelados disponibles en supermercados, los cuales constituyen una fuente principal de abastecimiento para la población. Esta carencia de datos científicos regionales limita la posibilidad de realizar una evaluación precisa del riesgo para los consumidores, restringe la capacidad de las autoridades sanitarias para implementar intervenciones basadas en evidencia y priva a la industria de una retroalimentación clave para optimizar sus prácticas de control de calidad. Por lo tanto, generar evidencia local no solo es pertinente, sino absolutamente indispensable para fortalecer la vigilancia epidemiológica y la toma de decisiones informadas en materia de inocuidad alimentaria.

En el contexto ecuatoriano, la carne de pollo constituye un componente esencial de la dieta familiar y una industria de gran importancia económica. La regulación y el control de su calidad microbiológica son cruciales para proteger a los consumidores. El Instituto Ecuatoriano de

Normalización (INEN) ha establecido normativas técnicas, como la NTE INEN 1338, que fija los requisitos microbiológicos para carne y productos cárnicos, incluyendo límites para indicadores como coliformes fecales y la ausencia de patógenos específicos como *Salmonella* (14). Cabe resaltar que, el marco regulatorio ecuatoriano se alinea con los estándares internacionales del Codex Alimentarius y las directrices del Ministerio de Salud Pública del Ecuador para la inocuidad alimentaria (15).

A partir de este panorama normativo y epidemiológico, el presente estudio fue diseñado para abordar la problemática descrita, integrando como objetivo principal la determinación de la calidad microbiológica de los pollos congelados comercializados en Machala. De manera complementaria, se plantearon objetivos específicos orientados a cuantificar la carga de coliformes fecales, aislar e identificar la presencia o ausencia de *Escherichia coli* mediante métodos estandarizados, y evaluar las condiciones de almacenamiento en el punto de venta. Al articular estos niveles de análisis, la investigación busca ofrecer una evaluación integral que sirva como base científica para fortalecer las estrategias de control sanitario, informar de manera transparente a los consumidores y garantizar la seguridad de un producto de consumo masivo, en coherencia con el cumplimiento normativo vigente y las exigencias internacionales en materia de inocuidad

alimentaria.

MATERIALES Y MÉTODO

Se llevó a cabo un estudio con enfoque cuantitativo, de tipo observacional, descriptivo, no experimental y de corte transversal, diseñado para caracterizar la calidad microbiológica de pollos enteros congelados disponibles para el consumidor en un supermercado de la ciudad de Machala, Ecuador, durante el segundo semestre del año 2017. La población de estudio estuvo constituida por todos los pollos congelados, de diferentes marcas comerciales, expeditos en las góndolas de congelación del supermercado. De esta población, se seleccionó una muestra de 62 unidades mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Cada muestra consistió en un pollo entero, congelado y en su empaque original sellado, con el objetivo de representar la diversidad de lotes disponibles y simular una compra aleatoria por parte del consumidor final.

Para la recolección de las muestras, se siguió un protocolo estricto basado en las directrices de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1529-2, referente a la toma, envío y preparación de muestras para análisis microbiológico (16). Inmediatamente después de su selección en el punto de venta, se midió la temperatura interna de cada pollo utilizando un termómetro digital de punción, previamente calibrado y desinfectado con alcohol al 70%. Este procedimiento se ejecutó

de forma rápida, con el fin de minimizar cualquier alteración térmica que pudiera comprometer la validez de los resultados.

Posteriormente, cada muestra fue colocada en una caja térmica isotérmica con geles refrigerantes, garantizando así la conservación de la cadena de frío durante el transporte al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala. El tiempo transcurrido entre la recolección y el inicio del procesamiento no excedió las dos horas, asegurando la integridad microbiológica de las muestras.

La preparación de las muestras para el análisis se realizó siguiendo las especificaciones de la norma ISO 6887-2 para carne y productos cárnicos (17). En una cabina de flujo laminar para garantizar la asepsia, se extrajo una porción de 25 gramos de cada muestra, que incluía piel y tejido muscular de la pechuga y el muslo. Esta submuestra se transfirió a una bolsa estéril tipo Stomacher conteniendo 225 mL de agua peptonada tamponada (APT) al 0.1%, constituyendo la dilución inicial de 10^{-1} . La mezcla se homogeneizó durante 2 minutos en un equipo Stomacher asegurando la liberación eficiente de los microorganismos presentes en la matriz alimentaria. A partir de esta dilución madre, se prepararon diluciones decimales seriadas (10^{-2} y 10^{-3}) utilizando el mismo diluyente.

Para la cuantificación e identificación de *E. coli*, se aplicó la técnica del Número Más

Probable (NMP) en serie de tres tubos, siguiendo la metodología descrita en la norma NTE INEN 1529-8 (18). Adicionalmente, se implementó el estándar internacional ISO 16649-1:2018 para la enumeración de *E. coli* β -glucuronidasa positiva (19), complementado por las especificaciones de la ISO 16649-3:2015 para técnicas rápidas de detección (20).

El procedimiento se dividió en tres fases: 1. Fase presuntiva: Se inoculó 1 mL de cada una de las tres diluciones (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) en series de tres tubos con Caldo Lauril Sulfato Típtica (LST), equipados con campanas de Durham. Los tubos se incubaron a 35 ± 1 °C durante 24 a 48 horas. Se consideraron positivos aquellos tubos que mostraron turbidez y producción de gas. 2. Fase confirmativa para coliformes fecales: A partir de cada tubo LST positivo, se transfirió una asada a un tubo con Caldo EC. Estos tubos se incubaron en baño de agua a una temperatura estrictamente controlada de 44.5 ± 0.2 °C durante 24 horas.

La presencia de gas en las campanas de Durham confirmó la presencia de coliformes fecales. 3. Fase de aislamiento: A partir de cada tubo de Caldo EC positivo, se realizó una siembra por agotamiento sobre placas de agar Eosina Azul de Metíleno (EMB) y agar MacConkey, medios selectivos y diferenciales para enterobacterias. Las placas se incubaron a 35 ± 1 °C durante 24 horas. Se buscaron colonias características de *E. coli*, que típicamente presentan un brillo verde metálico en

agar EMB y son lactosa-positivas (color rosa/rojo) en agar MacConkey.

De las placas con crecimiento, se seleccionaron al menos tres colonias aisladas con morfología sospechosa para la fase de identificación. A cada colonia seleccionada se le realizó una tinción de Gram para confirmar la presencia de bacilos Gram negativos. Posteriormente, se procedió a la identificación bioquímica mediante un panel de pruebas convencionales, siguiendo protocolos estandarizados (21): * Agar Triple Azúcar Hierro (TSI): Para evaluar la fermentación de glucosa, lactosa y sacarosa, y la producción de ácido sulfídrico (H_2S) y gas. * Prueba de Citrato de Simmons: Para determinar la capacidad del microorganismo de utilizar el citrato como única fuente de carbono. * Prueba de Urea: Para detectar la producción de la enzima ureasa. * Medio SIM (Sulfuro, Indol, Movilidad): Para evaluar la producción de H_2S , la producción de indol a partir de triptófano y la motilidad bacteriana. * Prueba de Lisina Hierro Agar (LIA): Para detectar la descarboxilación o deaminación de la lisina.

Adicionalmente, se realizaron pruebas enzimáticas clave para la diferenciación: * Prueba de la Catalasa: Para detectar la presencia de la enzima catalasa. * Prueba de la Oxidasa: Para identificar la presencia de la enzima citocromo c oxidasa. * Prueba de la Coagulasa: Para diferenciar *Staphylococcus aureus* de otros estafilococos (utilizada como prueba diferencial complementaria).

Los perfiles bioquímicos y enzimáticos obtenidos de las cepas aisladas se compararon con los perfiles de referencia para *Escherichia coli* (p. ej., TSI A/A con gas, H_2S -, Citrato-, Urea-, Indol+, Movilidad+) y otros géneros de enterobacterias. Se incluyeron cepas de control de calidad (ATCC 25922 para *E. coli*) para validar los resultados de las pruebas. Los datos de temperatura y los resultados de NMP se registraron y analizaron utilizando estadística descriptiva (frecuencias, promedios) con el software Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en los procedimientos descritos en el apartado de la metodología, se presentan a continuación los hallazgos obtenidos durante el análisis microbiológico de las muestras de pollo congelado comercializadas en Machala. Esta sección integra los resultados empíricos con su interpretación técnica, articulando los datos obtenidos con los objetivos específicos del estudio y con los estándares normativos vigentes. Se abordan tres dimensiones clave: las condiciones de almacenamiento en el punto de venta, la carga microbiana cuantificada mediante la técnica del Número Más Probable (NMP), y el perfil bioquímico y enzimático de los microorganismos aislados. Cada uno de estos ejes permite evaluar de manera integral la calidad microbiológica del producto, así como identificar posibles riesgos para la salud pública.

Condiciones de almacenamiento y cadena de frío

La evaluación de la cadena de frío en el punto de venta arrojó resultados uniformes y consistentes. Las temperaturas internas registradas en la totalidad de las 62 muestras de pollo congelado se encontraron en un rango estrecho, oscilando entre -17.6 °C y -18.0 °C. Todas las mediciones cumplieron con la recomendación internacional de mantener los productos

congelados a una temperatura igual o inferior a -18 °C, lo que indica un control térmico adecuado y un manejo correcto en la góndola de exhibición del supermercado. Este hallazgo es fundamental, ya que la congelación sostenida inhibe la proliferación de la mayoría de los microorganismos patógenos y alterantes. La distribución detallada de estas mediciones se presenta en la Tabla 1, evidenciando la falta de desviaciones significativas.

Tabla 1. Distribución de temperaturas internas de las muestras de pollo congelado (n=62).

Rango de Temperatura (°C)	Frecuencia de Muestras	Porcentaje (%)
-17.6 a -18.0	62	100%

Análisis microbiológico cuantitativo: Número Más Probable (NMP)

El análisis cuantitativo de coliformes fecales mediante la técnica de NMP reveló una baja carga microbiana general en las muestras. De las 62 muestras de pollo analizadas, 24 (correspondientes al 38.7%) resultaron positivas para la presencia de coliformes fecales en la fase confirmativa. Las 38 muestras restantes (61.3%) no mostraron crecimiento en Caldo EC a 44.5 °C, indicando una carga de coliformes fecales por debajo del límite de detección del método.

En las 24 muestras positivas, los valores de NMP fueron consistentemente bajos. El valor promedio de NMP/g para el total de muestras positivas fue de 3.1 NMP/g. El rango de valores observados fue desde el límite de detección (<3 NMP/g) hasta un valor máximo de 15 NMP/g, registrado en una sola muestra. Estos niveles se encuentran significativamente por debajo de los límites de referencia establecidos en normativas internacionales para productos crudos que requieren cocción. Los resultados consolidados del análisis de NMP se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis de Número Más Probable (NMP) para coliformes fecales.

Indicador	Resultado
Muestras totales analizadas (n)	62
Muestras positivas para coliformes (n, %)	24 (38.7%)
Muestras negativas para coliformes (n, %)	38 (61.3%)
NMP promedio en muestras positivas	3.1 NMP/g
NMP máximo observado en una muestra	15 NMP/g
NMP mínimo observado en muestras positivas	<3 NMP/g

Aislamiento e identificación bioquímica y enzimática

A partir de los 24 tubos de Caldo EC positivos, se procedió al aislamiento en agar EMB y MacConkey. Se observó crecimiento de colonias en todas las placas, las cuales, tras tinción de Gram, se confirmaron como bacilos Gram negativos, morfología compatible con la familia Enterobacteriaceae. Sin embargo, en el agar EMB, ninguna de las colonias desarrolló el característico brillo verde metálico típico de *E. coli*. En agar MacConkey, las colonias eran incoloras o de un

rosa pálido, sugiriendo que eran fermentadoras débiles de lactosa o no fermentadoras.

Se seleccionaron múltiples colonias aisladas de las diferentes muestras para la identificación bioquímica y enzimática. Los resultados de estas pruebas fueron consistentes entre todas las cepas analizadas y revelaron un perfil bioquímico que no correspondía al de *Escherichia coli*. La Tabla 3, compara el perfil observado con los perfiles esperados para *E. coli* y para el género *Pseudomonas*, que surgió como el candidato más probable.

Tabla 3. Perfil bioquímico y enzimático consolidado de las cepas aisladas en comparación con perfiles de referencia.

Prueba Bioquímica / Enzimática	Resultado Observado en Aislados	Perfil Esperado para <i>E. coli</i>	Perfil Esperado para <i>Pseudomonas spp.</i>
Pruebas Bioquímicas			
Agar TSI (Pico/Fondo)	K/A (Alcalino/Ácido)	A/A (Ácido/Ácido)	K/A o K/K
Producción de Gas (TSI)	Negativo	Positivo	Negativo
Producción de H ₂ S (TSI)	Negativo	Negativo	Negativo
Citrato de Simmons	Positivo	Negativo	Positivo

Prueba Bioquímica / Enzimática	Resultado Observado en Aislados	Perfil Esperado para <i>E. coli</i>	Perfil Esperado para <i>Pseudomonas spp.</i>
Urea	Negativo	Negativo	Negativo
Producción de Indol (SIM)	Negativo	Positivo	Negativo
Movilidad (SIM)	Positivo	Positivo	Positivo
Pruebas Enzimáticas			
Catalasa	Positivo	Positivo	Positivo
Oxidasa	Positivo	Negativo	Positivo
Coagulasa	Negativo	No aplica	No aplica

Los resultados más determinantes fueron:

1. Prueba de la Oxidasa: Todas las cepas aisladas resultaron ser Oxidasa positivas. Este es un resultado clave, ya que *E. coli* y la mayoría de los miembros de la familia Enterobacteriaceae son característicamente Oxidasa negativos, mientras que el género *Pseudomonas* es Oxidasa positivo.
2. Prueba de Indol: Todas las cepas fueron Indol negativas, en contraste con el 99% de las cepas de *E. coli* que son Indol positivas.
3. Prueba de Citrato: Todas las cepas mostraron un resultado positivo, indicando su capacidad para utilizar citrato como única fuente de carbono, una característica que es negativa para la mayoría de las cepas de *E. coli*.

El conjunto de estos resultados (Oxidasa+, Indol-, Citrato+) permite descartar de manera concluyente que los microorganismos coliformes aislados pertenezcan a la especie *Escherichia coli*. El perfil completo es altamente compatible con el de bacterias del género *Pseudomonas*,

lo que plantea nuevas consideraciones sobre la naturaleza de la contaminación detectada y su implicancia en la vigilancia microbiológica de productos congelados.

Discusión

El hallazgo central y de mayor relevancia de este estudio es la ausencia total de *Escherichia coli* en las 62 muestras de pollo congelado analizadas. Este resultado es un indicador positivo de la inocuidad microbiológica del producto con respecto a este patógeno específico y sugiere un riesgo bajo para el consumidor en el contexto evaluado. En este sentido, la efectividad de las prácticas de higiene y control a lo largo de la cadena de producción y comercialización parece ser adecuada para prevenir o eliminar la contaminación por *E. coli* en el lote de productos examinados.

Este resultado contrasta con numerosos estudios internacionales que reportan prevalencias significativas de *E. coli* en carne de pollo cruda. Estudios recientes han demostrado la alta prevalencia de resistencia antimicrobiana en *E. coli* asociada a alimentos en Latinoamérica, destacando la diseminación de genes de resistencia a través de elementos genéticos móviles (22). Asimismo, investigaciones en Brasil han identificado cepas de *E. coli* productora de β-lactamasa de espectro extendido (ESBL) tanto en pollos de crianza convencional como en los libres de antibióticos (23), mientras que estudios ecuatorianos han revelado altos niveles de resistencia antimicrobiana en *E. coli* aislada de aves de corral (24).

Por ejemplo, un metaanálisis de estudios europeos encontró una prevalencia promedio de *E. coli* en pollos de engorde del 65.5% (10), mientras que investigaciones en mercados de Lima, Perú, también han identificado la presencia de *E. coli* en superficies de expendio de pollo, señalando un riesgo constante de contaminación cruzada (8). La ausencia de este patógeno en este estudio podría atribuirse a varios factores, incluyendo la implementación de sistemas de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) en la planta de procesamiento, el uso de tratamientos antimicrobianos en las canales, o la

alta calidad higiénico-sanitaria del lote específico de donde provinieron las muestras.

La literatura internacional reciente refuerza la necesidad de mantener una vigilancia constante. Estudios como los de Abdlla y Al-Sanjary (10) en Irak y Swetcha et al. (12) en India reportan altas tasas de contaminación por *E. coli* en carne de pollo (40% y 60%, respectivamente) y una alarmante prevalencia de resistencia a múltiples fármacos. Asimismo, el trabajo de Águila Sánchez et al. (2020) en Cuba, que detectó *E. coli* en el 100% de las canales post-beneficio, evidencia que el procesamiento es un punto crítico de contaminación (11). La divergencia entre los hallazgos del presente estudio y estos reportes internacionales subraya la efectividad de las prácticas de control implementadas en la cadena de suministro de los pollos analizados en Machala. No obstante, esta ausencia no debe interpretarse como un punto de llegada, sino como un estándar que debe mantenerse y fortalecerse, especialmente en un contexto global caracterizado por alta prevalencia y riesgo.

Un factor determinante en la calidad microbiológica observada fue el manejo adecuado de la cadena de frío. La totalidad de las muestras registró temperaturas de -18.0 °C o muy cercanas, cumpliendo con el estándar internacional para la conservación de productos congelados. A estas

temperaturas, el crecimiento bacteriano, incluida la proliferación de mesófilos como *E. coli*, se detiene por completo (9). Aunque la congelación no es un método bactericida, actúa como una barrera eficaz que impide la multiplicación de contaminantes iniciales. Este hallazgo subraya la importancia crítica del control de la temperatura como una barrera fundamental en la prevención de enfermedades transmitidas por alimentos. El cumplimiento riguroso de este parámetro en el supermercado estudiado es una fortaleza notable en sus prácticas de inocuidad.

Si bien no se detectó *E. coli*, el estudio identificó la presencia de coliformes fecales en el 38.7% de las muestras. Sin embargo, la carga cuantitativa fue baja, con un promedio de 3.1 NMP/g. Este valor es inferior a los límites establecidos por muchas agencias reguladoras, que a menudo se sitúan en el rango de 100 a 1,000 NMP/g para carne cruda (14). Esta baja concentración refuerza la hipótesis de un control higiénico adecuado en la cadena de procesamiento. Lo más significativo fue la identificación de estos coliformes como pertenecientes al género *Pseudomonas*. Este hallazgo, aunque inesperado en el contexto de una búsqueda de *E. coli*, es coherente con la ecología microbiana de la carne de ave. *Pseudomonas spp.* son bacterias ubicuas en el medio ambiente, conocidas por su capacidad psicotrófica (crecen a temperaturas

de refrigeración) y por ser los principales microorganismos alterantes de la carne de pollo almacenada en aerobiosis (25).

La presencia de *Pseudomonas spp.*, si bien no representa un riesgo patogénico primario para la población general, tiene implicaciones significativas en términos de calidad del producto y condiciones higiénicas del procesamiento. Estas bacterias son responsables de la aparición de olores desagradables, limo superficial y cambios de color en la carne, limitando su vida útil (26). Su detección en productos congelados sugiere que la contaminación ocurrió en algún punto previo a la congelación, probablemente durante el procesamiento (faenado, evisceración, enfriamiento) o a través de contaminación cruzada desde superficies o agua en la planta. Aunque la congelación detuvo su crecimiento, su presencia indica que, una vez descongelado el producto, estas bacterias podrían reanudar su multiplicación si se mantiene en refrigeración, llevando a un deterioro más rápido de la carne. Por tanto, *Pseudomonas spp.* se consolida como un indicador relevante de higiene en el procesamiento y de la vida útil potencial del producto.

La diferenciación entre *E. coli* y *Pseudomonas* fue inequívoca gracias a pruebas clave como la de la oxidasa. Mientras que *E. coli* y *Pseudomonas* fue inequívoca gracias a pruebas clave como la

de la oxidasa. Mientras que *E. coli* es oxidasa-negativa, *Pseudomonas* es oxidasa-positiva, una distinción fundamental en la microbiología de alimentos (21). La confirmación a través del perfil bioquímico completo (indol negativo, citrato positivo) solidificó la identificación presuntiva. Este resultado resalta la importancia de no depender únicamente de pruebas presuntivas (como la producción de gas en Caldo EC), sino de llevar a cabo una identificación bioquímica completa para caracterizar adecuadamente los aislados microbianos. Confiar solo en los resultados de NMP para coliformes fecales habría llevado a una sobreestimación del riesgo higiénico-sanitario, al no diferenciar entre un indicador de contaminación fecal (*E. coli*) y un microorganismo alterante ambiental (*Pseudomonas*).

En perspectiva, los avances en biosensores y tecnologías de detección rápida ofrecen oportunidades prometedoras para fortalecer el control de calidad en la industria avícola (27). Asimismo, la implementación de sistemas de vigilancia epidemiológica de *E. coli* en diferentes tipos de granjas y ambientes de incubación puede generar información estratégica para la prevención y el control de la contaminación (28).

A pesar de la solidez de los hallazgos, este estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Primero, el diseño del muestreo,

aunque representativo de un punto de venta importante, se limita a un único supermercado en Machala. Por lo tanto, los resultados no pueden ser generalizados a todos los establecimientos comerciales de la ciudad o la región.

Las prácticas de proveedores, logística y manejo en tienda pueden variar significativamente entre diferentes cadenas de supermercados y mercados locales. Segundo, la metodología se basó en técnicas microbiológicas convencionales. Si bien son métodos estandarizados y validados, la confirmación de la identidad de las cepas de *Pseudomonas spp.* y la ausencia definitiva de genes de virulencia de *E. coli* se beneficiaría de técnicas moleculares como la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Tercero, el estudio no evaluó otros patógenos de relevancia en carne de pollo, como *Salmonella spp.* o *Campylobacter spp.*, que también son causas importantes de ETA a nivel mundial.

Finalmente, el análisis se centró en el producto final en el punto de venta, sin trazar su origen ni evaluar las prácticas en las granjas o plantas de procesamiento, lo que impide identificar el punto exacto de la posible introducción de la microbiota contaminante.

CONCLUSIONES

Los pollos congelados comercializados en el supermercado analizado en Machala presentan

una calidad microbiológica aceptable y son considerados seguros para el consumo humano en relación con la contaminación por *Escherichia coli*. Este patógeno no fue detectado en ninguna de las 62 muestras analizadas, lo que indica un riesgo bajo para la salud pública asociado a este agente en el contexto evaluado. Este resultado confirma la efectividad de las prácticas de higiene y control implementadas en la cadena de producción y comercialización. El correcto y consistente mantenimiento de la cadena de frío, con temperaturas de almacenamiento que cumplen con los estándares internacionales ($\leq -18^{\circ}\text{C}$), fue identificado como un factor crítico que contribuye de manera fundamental a esta alta calidad microbiológica, inhibiendo la proliferación de microorganismos patógenos y alterantes.

Por otra parte, la detección de coliformes fecales en una proporción moderada de las muestras, con cargas cuantitativas bajas, fue atribuida concluyentemente a la presencia de bacterias del género *Pseudomonas*. Aunque *Pseudomonas spp.* no representa un riesgo patogénico directo comparable al de *E. coli*, su hallazgo constituye un indicador relevante de la higiene del procesamiento y un predictor del potencial de deterioro del producto. Este resultado señala la necesidad de reforzar las buenas prácticas de manufactura y los programas de saneamiento y desinfección en las etapas

previas a la congelación, con el fin de controlar la microbiota psicotrófica, optimizar la calidad general y prolongar la vida útil de la carne de pollo.

En función de estos hallazgos, se recomienda la realización de futuras investigaciones que amplíen la vigilancia microbiológica a múltiples puntos de venta en la región, con el propósito de construir un panorama más representativo y robusto. Asimismo, resulta aconsejable incorporar técnicas moleculares para la confirmación de especies de *Pseudomonas* y la detección de posibles genes de virulencia, lo que permitiría una caracterización más precisa de los riesgos asociados.

Finalmente, se sugiere incluir en el análisis otros patógenos alimentarios relevantes como *Salmonella spp.* y *Campylobacter spp.*, con el objetivo de fortalecer la vigilancia integral y contribuir a la mejora continua de la inocuidad alimentaria en Ecuador.

CONFLICTO DE INTERESES. La autora declara que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

DECLARACIONES ÉTICAS. Los autores declaran que esta investigación no involucró experimentación con seres humanos ni animales. El manejo de las muestras se realizó siguiendo los protocolos de bioseguridad del laboratorio. No existen conflictos de interés de ningún tipo en la realización y publicación de este estudio. La investigación fue financiada íntegramente por los autores.

AGRADECIMIENTOS. Los autores expresan su gratitud a la Universidad Técnica de Machala y al personal del Laboratorio de Microbiología por el apoyo técnico y las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

1. World Health Organization. Food safety. Geneva: WHO; 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
2. European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. EFSA J. 2022;20(12):e07666. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7666>
3. Kaper J, Nataro J, Mobley H. Pathogenic *Escherichia coli*. Nat Rev Microbiol. 2004;2(2):123-40. <https://doi.org/10.1038/nrmicro818>
4. Croxen M, Law R, Scholz R, Keeney K, Włodarska M, Finlay B. Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. Clin Microbiol Rev. 2013;26(4):822-80. <https://doi.org/10.1128/cmr.00022-13>
5. Bolton D. Poultry as a source of foodborne pathogens. En: Sofos JN, editor. Foodborne pathogens: Hazards, risk analysis and control. Cambridge: Woodhead Publishing; 2015. p. 245-70.
6. Zweifel C, Stephan R. Spoilage of raw poultry meat. En: Toldrá F, editor. Handbook of poultry science and technology, Volume 2: Secondary processing. Ames: John Wiley & Sons; 2010. p. 3-18. DOI: 10.1002/9780470504475
7. Morales-Cauti S, Salazar E, Ampuero-Riega L, Navarro A. Serotipificación de *Escherichia coli* aislados a partir de superficies vivas e inertes en un mercado de carne de pollo (Lima, Perú). Rev Investig Vet Perú. 2020;31(4):e19042. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19042>
8. Vásquez-Ampuero JM, Tasayco-Alcántara WR. Presencia de patógenos en carne cruda de pollo en centros de expendio, Huánuco-Perú. J Selva Andina Res Soc. 2020;11(2):130-41. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2020.110200130>
9. Lianou A, Panagou E, Nychas GJ. Meat safety—I: Foodborne pathogens and other biological issues. En: Dikeman M, Carrick C, editores. Encyclopedia of Meat Sciences. 3rd ed. Cambridge: Elsevier; 2022. p. 15-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8-100694-8.00017-0>
10. Abdlla M, Al-Sanjary R. Molecular detection of some virulence genes and antibiotic resistance in *Escherichia coli* isolated from raw chicken meat in Duhok, Iraq. Iraqi J Vet Sci. 2023;37(1):125-31. https://vetmedmosul.com/article_174354.html
11. Águila A, et al. Aislamiento e identificación de *Escherichia coli* en canales de pollos de engorde post-beneficio. Rev Prod Anim. 2020;32(3):e20030.
12. Swetcha P, et al. Prevalence and antimicrobial resistance profile of *Escherichia coli* from raw chicken meat sold in and around Gannavaram, Andhra Pradesh. Pharma Innov J. 2023;12(5):2621-5.
13. Mahmoud M, et al. Whole-genome sequencing and characterization of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) from chicken meat in Egypt. Curr Microbiol. 2022;79(12):379.
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1338:2012. Carne y productos cárnicos. Requisitos. 3ra revisión. Quito: INEN; 2012.
15. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Food and Agricultural Import Regulations and Standards Country Report - Ecuador. USDA Foreign Agricultural Service; 2022. <https://n9.cl/mibj0>
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1529-2:2013. Control microbiológico de los alimentos. Toma, envío y preparación de muestras para el análisis microbiológico. Quito: INEN; 2013.
17. International Organization for Standardization. ISO 6887-2:2017. Microbiology of the food chain — Preparation of test samples, initial suspension and decimal dilutions for microbiological examination — Part 2: Specific rules for the preparation of meat and meat products. Geneva: ISO; 2017.
18. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1529-8:2016. Control microbiológico de los alimentos. Detección y recuento de *Escherichia coli* presuntiva por la técnica del número más probable. Quito: INEN; 2016.
19. International Organization for Standardization. ISO 16649-1:2018. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of β -glucuronidase-positive *Escherichia coli* — Part 1: Colony-count technique at 44 °C using membranes

- and 5-bromo-4-chloro-3-indolyl β -D-glucuronide. Geneva: ISO; 2018. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:64951>
- 20.** International Organization for Standardization. ISO 16649-3:2015. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of β -glucuronidase-positive *Escherichia coli* — Part 3: Rapid technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-glucuronide. Geneva: ISO; 2015. <https://n9.cl/bl0i7>
- 21.** Velasco-García E, Ramírez-Hernández A, Salazar-Gutiérrez M. Caracterización Bioquímica de dos trímeros de la proteína FtsZ de *E.coli*. SciELO Preprints. 2023. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.7828.
- 22.** Thompson C, et al. Antimicrobial resistance in food-associated *Escherichia coli* in Latin America and Mexico. *J Appl Microbiol*. 2023;134(5):lxad093. DOI: 10.1093/jambio/lxad093.
- 23.** Santos R, et al. Extended-spectrum β -lactamase (ES β L)-producing *Escherichia coli* in antibiotic-free and conventional chicken meat: Brazil. *Int J Food Microbiol*. 2025;527:110. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110.
- 24.** Chiriboga C, et al. High levels of antimicrobial resistance in *Escherichia coli* and *Salmonella* from poultry in Ecuador. *Rev Panam Salud Publica*. 2023;47:e15. DOI: 10.26633/RPSP.2023.15
- 25.** Gounadaki A, Skandamis P, Drosinos E, Nychas G. Microbial ecology of meat and poultry. En: Tarte R, editor. *Ingredients in meat products*. Boston: Springer; 2009. p. 1-24.
- 26.** García-Rodríguez A, et al. The role of *Pseudomonas* species in food spoilage. *Foods*. 2022;11(3):432. DOI: 10.3390/foods11030432.
- 27.** Khan M, et al. Strategic Detection of *Escherichia coli* in the Poultry Industry. *Biosensors*. 2024;15(7):419. DOI: 10.3390/bios15070419.
- 28.** Mendoza J, et al. Surveillance of *Escherichia coli* in different types of chicken and hatchery environments. *Poultry Sci*. 2024;102(12):102-627. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102627.