PONTIFICIA UNIVERSIDAD CÁTOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Evaluación química de nitritos y nitratos para productos cárnicos: propiedades, reactividad y riesgos asociados actualizados

MONOGRAFÍA PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE QUÍMICO

DARLIN ELENA CEVALLOS BASABANDA

Quito, 2026

Certifico que la Monografía de la carrera de Química, de la Srta. Darlin Elena Cevallos Basabanda ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Fernanda Pilaquinga

Firmante digital: Fernanda Pilaquinga
DN:C=EC, E=mfpilaquingaf@puce.edu.ec, O=PUCE, CN=Fernanda Pilaquinga
Fecha:2026.06.09 11:09:57 -05:00

Firma de la tutora de la monografía

Ph.D. Pilaquinga Flores María Fernanda

Quito, 9 de junio de 2026

A mi familia, por nunca dejar de creer en mí

Tabla de contenidos

1 RESUMEN 1

2 ABSTRACT 2

3 INTRODUCCIÓN 3

4 OBJETIVOS 5

4.1 Objetivo general 5

4.2 Objetivos específicos 5

5 DESARROLLO TEÓRICO 5

5.1 Definición y clasificación de nitritos y nitratos 5

5.2 Función tecnológica en la industria cárnica 7

5.2.1 Transformación de nitratos a nitritos y química del curado 7

5.2.2 Estructura química de nitritos, nitratos y su relación con el color de la carne 8

5.3 Factores que afectan la reactividad 10

5.3.1 pH 10

5.3.2 Temperatura 11

5.3.3 Concentración 11

5.4 Formación de compuestos derivados 12

5.4.1 Formación de nitrosaminas 13

5.5 Seguridad alimentaria y riesgos asociados 14

5.5.1 Toxicidad de nitritos y nitratos 15

5.5.2 Efectos en la salud humana 15

5.5.3 Normativa nacional e internacional 16

5.6 Métodos analíticos 17

5.7 Resultados y Discusión 19

5.7.1 Contexto Ecuatoriano 19

5.7.2 Contexto latinoamericano e internacional 23

5.8 Alternativas del uso de nitritos y nitratos 28

5.9 Conclusiones 30

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

1 RESUMEN

Los nitritos y nitratos son aditivos fundamentales en la industria cárnica debido a su capacidad antimicrobiana, estabilización del color y efecto antioxidante. Sin embargo, su uso inevitablemente conlleva la formación de *N*-nitrosaminas, compuestos clasificados como probables carcinógenos humanos por la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer). En este estudio se revisaron las propiedades químicas y el comportamiento de estos aditivos en matrices cárnicas tales como chorizo, salchichas, salami, lomo de cerdo curado, perritos calientes, hamburguesas, embutidos y carne ahumada, a nivel nacional e internacional, para compararlos con los límites establecidos por el Codex Alimentarius y la norma ecuatoriana NTE INEN 1338. Se compararon los métodos analíticos utilizados para la determinación de nitritos, nitratos y *N*-nitrosaminas, como espectrofotometría UV-Vis con reactivo de Griess, cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-UV), cromatografía iónica y cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS/MS). Se encontraron concentraciones de nitritos en chorizos comerciales y artesanales ecuatorianos que oscilaron entre 45 y 164,5 mg/kg, superando en varios casos el límite del Codex de 80 mg/kg, mientras que, a nivel internacional, las *N*-nitrosaminas alcanzaron los 159,24 µg/g en productos con alto contenido lipídico como los hotdogs. También se identificó una brecha analítica de 240 000 veces entre los métodos colorimétricos nacionales y los métodos internacionales basados en LC-MS/MS, lo que impide la detección de compuestos *N*-nitrosos en productos que formalmente cumplen con la normativa. Se encontraron 3 estudios sobre alternativas al uso de nitritos como: los extractos polifenólicos, el procesamiento a alta presión hidrostática y los cultivos iniciadores a base de bacteriocinas, aunque ninguna estrategia lo elimina por completo. Se concluye que varios productos cárnicos procesado en Ecuador superan la normativa nacional e internacional, con el riesgo directo sobre la salud, sugiriendo una actualización del sistema analítico nacional y la incorporación de métodos espectrométricos/cromatográficos avanzados a la vigilancia alimentaria son esenciales para garantizar la protección efectiva de los consumidores ecuatorianos.

Palabras clave: nitritos, nitratos, *N*-nitrosaminas, productos cárnicos, espectrofotometría UV-Vis, HPLC, LC-MS/MS, seguridad alimentaria, normativa alimentaria.

2 ABSTRACT

The Nitrites and nitrates are fundamental additives in the meat industry due to their antimicrobial capacity, color stabilization, and antioxidant effect. However, their use inevitably leads to the formation of N-nitrosamines, compounds classified as probable human carcinogens by the IARC. This study evaluated the chemical properties and behavior of these additives in meat matrices, analyzed the levels reported in national and international products compared to the limits established by the Codex Alimentarius and NTE INEN 1338, and compared the analytical methods used for their determination, including UV-Vis spectrophotometry with Griess reagent, high-performance liquid chromatography (HPLC-UV), ion chromatography, and liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS/MS). Nitrite concentrations in Ecuadorian products ranged from 45 to 164.5 mg/kg, exceeding the Codex limit of 80 mg/kg in several cases. Internationally, N-nitrosamines reach up to 159.24 µg/g in products with high lipid content. An analytical gap of 240,000 times was also identified between national colorimetric methods and international methods based on LC-MS/MS, hindering the detection of carcinogenic compounds in products that formally comply with regulations. Regarding alternatives, polyphenolic extracts, high hydrostatic pressure processing, and bacteriocin-based starter cultures can reduce the use of synthetic nitrite, although no strategy eliminates it completely. It is concluded that updating the national analytical system and incorporating advanced spectrometric methods into food surveillance are essential to guarantee the effective protection of Ecuadorian consumers.

Keywords: nitrites, nitrates, N-nitrosamines, meat products, UV-Vis spectrophotometry, HPLC, LC-MS/MS, food safety, food regulations.

3 INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial del sector alimentario en las últimas décadas especialmente en el área cárnica ha impulsado el uso de aditivos que garanticen la seguridad, estabilidad y características sensoriales atractivas al consumidor. Debido a la alta susceptibilidad al deterioro microbiológico y a procesos de oxidación, la industria alimentaria a llegado al uso de diversos aditivos alimentarios como estrategia fundamental para garantizar la estabilidad e inocuidad de los mismos. Entre ellos, se encuentran los nitritos y nitratos destacan por su capacidad para inhibir microorganismos patógenos, contribuir al desarrollo del color característico y mantener la estabilidad del producto (Zhang et al., 2023).

Desde el punto de vista químico, los nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) poseen una reactividad química alta especialmente en matrices cárnicas, lo que les permite estar presentes en diversas transformaciones químicas que inciden directamente a la calidad sanitaria del producto. Entre los más relevantes se encuentra el proceso de la formación de óxido nítrico, el cual puede reaccionar con la mioglobina y generar la nitrosilmioglobina (responsable de la pigmentación rosada característica de las carnes curadas) y la reducción de nitratos a nitritos (Bedale et al., 2016). Además, estos compuestos actúan como un componente antioxidante, retardando la oxidación lipídica ayudando a la estabilidad del alimento por largos periodos de tiempo (Bedale et al., 2016). Con los avances en la investigación en la industria alimentaria hoy en día se puede observar el comportamiento de estos aditivos en productos cárnicos destacando los riesgos así como los beneficios asociados. En particular los recientes estudios han demostrado que la estabilidad de los nitritos y nitratos dependen de factores como la temperatura, pH y concentración, los cuales influyen directamente dentro de la matriz alimentaria (Cárdenas et al., 2025).

Asimismo, se ha evidenciado que la exposición a niveles elevados de nitritos y nitratos puede representar un riesgo para la salud humana, especialmente en las poblaciones más vulnerables como

personas adultas, quienes presentan una mayor susceptibilidad por su menor peso corporal y características fisiológicas (Tayel et al., 2025).

En el contexto ecuatoriano, diversas investigaciones han observado la presencia de nitritos y nitratos en productos cárnicos, así como una variabilidad en sus concentraciones. En algunos casos, se han reportado niveles de nitritos cercanos o superiores a los límites permisibles establecidos en la normativa nacional, como la NTE INEN 1338:2012, en concordancia con los criterios del Codex Alimentarius (CXS 192-1995); por ejemplo, la investigación realizada por Carvajal (2024) en la ciudad de Quito reportaron concentraciones de nitrito de hasta 164,5 mg/kg en chorizos comerciales y artesanales, superando los límites establecidos por el Codex Alimentarius. Asimismo, otros estudios nacionales han evidenciado la presencia generalizada de estos compuestos en embutidos, destacando la variabilidad en sus concentraciones y la necesidad de control sanitario. No obstante, la evidencia específica en carne fresca en Ecuador es limitada, por lo que los valores reportados en este tipo suelen basarse en referencias internacionales más que en estudios locales. En cuanto a las técnicas analíticas utilizadas en estudios recientes, predominan métodos como la espectrofotometría UV-Vis con reducción previa de nitratos o el método UV-Vis con el método de Griess para determinación por colorimetría de nitritos, seguido del HPLC (cromatografía líquida de alta resolución) y, en menor medida, técnicas más avanzadas como la cromatografía iónica acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), seleccionadas por su sensibilidad, precisión y capacidad de cuantificación en matrices cárnicas complejas.

Debido a esto han surgido investigaciones centradas en encontrar alternativas para reducir el uso de nitritos y nitratos sin afectar la inocuidad del producto final. El uso de conservantes naturales por medio de extractos vegetales ricos en compuestos, como la espinaca, se han propuesto como una opción viable para sustituir parcialmente estos aditivos, mostrando efectos positivos en la calidad de los embutidos. Sin embargo, estas alternativas aún presentan limitaciones en su aplicación industrial, lo que subraya la necesidad de seguir investigando su viabilidad y eficacia (Choca, 2024).

En base a lo expuesto este trabajo tiene la finalidad de comparar y analizar la información científica disponible sobre nitritos y nitratos en productos cárnicos, considerando sus propiedades químicas, su comportamiento bajo diferentes condiciones y los riesgos asociados a su uso. Asimismo, busca evaluar los métodos analíticos empleados en su determinación, con el fin de identificar tendencias y contribuir al fortalecimiento del conocimiento en el área de la ciencia química de los alimentos. De esta manera, pretende brindar una perspectiva integral que permita comprender la relación entre la funcionalidad tecnológica de estos compuestos y su impacto en la inocuidad alimentaria, promoviendo la adición responsable de esta clase de aditivos en la industria cárnica.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- **Evaluar las propiedades químicas y el comportamiento de los nitritos y nitratos utilizados en productos cárnicos mediante métodos químicos, considerando los riesgos asociados a la formación de compuestos derivados y alternativas más saludables.**

4.2 Objetivos específicos

- **Analizar la formación de nitrosaminas y otros compuestos derivados durante el curado y procesamiento de carnes.**
- **Analizar los niveles de nitritos, nitratos y compuestos *N*-nitrosos detectados en productos cárnicos procesados, de acuerdo con los límites reglamentarios vigentes.**
- **Identificar alternativas para disminuir la dependencia del uso de nitritos y nitratos en productos cárnicos.**

5 DESARROLLO TEÓRICO

5.1 Definición y clasificación de nitritos y nitratos

Los nitritos y nitratos son compuestos orgánicos formados por nitrógeno y oxígeno, que están en la naturaleza como aniones es decir con carga negativa. Desde un punto de vista más estructural, el anión nitrato (NO_3^-) posee tres átomos de oxígeno y un nitrógeno en estado de oxidación +5,

mientras que el anión nitrito (NO_2^-) posee únicamente dos átomos de oxígeno y un nitrógeno en estado de oxidación +3 (Vera, 2023). Esta pequeña diferencia en el número de átomos de oxígeno entre ambas moléculas no es algo simplemente trivial; ya que determina la estabilidad del nitrato en comparación al nitrito, el cual es una etapa intermedia más reactiva y biológicamente más potente, tanto en sus efectos conservantes como en su toxicidad (Carvajal & Hidalgo, 2025).

Desde el punto de vista de su respectiva clasificación, tanto los nitritos como los nitratos se agrupan en dos categorías. En compuestos inorgánicos que son sales formadas por la unión de aniones (NO_3^-) o (NO_2^-) con cationes metálicos. Los cuales son, los más empleados en la industria cárnica, los más reconocidos son: el nitrito de potasio (KNO_2) con código ($E-249$) según la Unión Europea, seguido del nitrato de sodio ($E-251,\ NaNO_3$) , el nitrato de potasio ($E-252,\ KNO_3$) y el nitrito de sodio ($E-250,\ NaNO_2$) (Bedale et al., 2016). En cuanto a la segunda categoría de compuestos orgánicos, están formados por el grupo dióxido de carbono o un éster de nitrato ($-NO_2\ o\ -ONO_2$) enlazado a estructuras carbonadas que son formadas de manera secundaria en los procesos de procesamiento de alimentos, cuando los nitritos reaccionan con aminas secundarias para originar N-nitrosaminas, los cuales poseen una alta actividad carcinogénica que constituye el riesgo principal asociado al uso de estas sales en la industria (Carvajal & Hidalgo, 2025).

En la práctica industrial, el nitrito de sodio ($NaNO_2$) actúa de forma directa e inmediata como conservante, razón por la cual se utiliza preferentemente en productos de curado rápido como embutidos, mortadela y chorizo. El nitrato de potasio (KNO_3), por otro lado, funciona como un reservorio de acción prolongada que reduce lentamente a nitrito por acción bacteriana durante los procesos de maduración de productos de curado prolongado como jamones y embutidos fermentados (Choca, 2024). Esta distinción funcional entre ambas familias justifica que las regulaciones internacionales y las investigaciones realizadas en Ecuador diferencien entre la contribución inmediata del nitrito y la contribución retardada del nitrato, y establezcan límites regulatorios específicos para cada categoría de producto (Carvajal & Hidalgo, 2025).

5.2 Función tecnológica en la industria cárnica

En términos tecnológicos, los nitritos y nitrato desempeñan cuatro funciones principales en los productos cárnicos. La primera y más estudiada es la función antimicrobiana, mediante la cual el nitrito inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos. La segunda función es antioxidante: el nitrito ralentiza la oxidación lipídica de las grasas, un fenómeno responsable del enranciamiento y el deterioro de las propiedades sensoriales de los productos cárnicos (Vera, 2023).

La tercera función es la estabilización desarrollo del color y la cuarta es la contribución en el sabor y aroma típicos del curado de carnes. Ya que el nitrito participa en reacciones de Maillard con aminoácidos y azucares durante el procesamiento, lo cual genera compuestos volátiles que conforman una identidad sensorial característica de productos como la salchicha o el chorizo (Cárdenas, 2025).

5.2.1 Transformación de nitratos a nitritos y química del curado

El curado de la carne es una de las prácticas de preservación alimentarias más remotas desarrolladas por la humanidad, utilizada desde civilizaciones antiguas como la romana y la egipcia, donde se empleaban sales naturales ricas en nitratos para alargar la duración de los alimentos. Con el tiempo, se observó empíricamente que estos compuestos no solo prevenían la descomposición, sino que también mejoraban el sabor y color de la carne. Sin embargo, no fue hasta el desarrollo de la química moderna que se comprendió que los nitratos presentes en las sales se transformaban en nitritos, que son los verdaderos agentes responsables de las reacciones químicas involucradas en el curado. Actualmente, este proceso se controla con precisión en la industria cárnica, garantizando tanto la calidad sensorial como la seguridad alimentaria (Ward et al., 2018).

La transformación de nitratos (NO_3^-) en nitritos (NO_2^-) se produce mediante reacciones de reducción, que pueden ser catalizadas por enzimas bacterianas como el nitrato reductasa o inducidas por las condiciones químicas del entorno (Glynn & Filomeni, 2023). En los sistemas cárnicos, esta conversión es crucial, puesto que los nitritos generados participan directamente en la formación de compuestos responsables del color, el aroma y la estabilidad microbiológica del producto.

Durante el proceso de curado, puede describirse sistemáticamente en una secuencia de etapas. En la primera etapa, los nitritos (NO_2^-) presentes en la carne reaccionan con protones (H^+) en ambientes ligeramente ácidos, generando ácido nitroso (HNO_2) cómo se presenta en la ecuación (1). Este equilibrio depende en gran medida del pH del sistema, favoreciéndose en condiciones ácidas.

$$NO_2^- + H^+ \leftrightarrow HNO_2 \quad (1)$$

Posteriormente, en una segunda etapa, el ácido nitroso, debido a su inestabilidad, se descompone mediante reacciones de deshidratación y desproporción, generando especies intermedias como el anhídrido nitroso (N_2O_3), que a su vez puede descomponerse, liberando óxido nítrico (NO) y otros óxidos de nitrógeno como se observa en la ecuación (2) y (3). Este paso es fundamental, ya que el (NO) es la especie reactiva clave en el proceso de curado (Onuma et al., 2011).

$$2HNO_2 \leftrightarrow N_2O_3 + H_2O \quad (2)$$

$$N_2O_3 \leftrightarrow NO + NO_2 \quad (3)$$

En una tercera etapa, el óxido nítrico formado se difunde rápidamente a través del tejido muscular hasta alcanzar el grupo hemo de la mioglobina. Debido a su naturaleza apolar y su pequeño tamaño molecular, el (NO) atraviesa fácilmente las estructuras celulares y se aproxima al hierro central del grupo hemo, que debe estar en estado ferroso (Fe^{2+}) para que se produzca la reacción (Cárdenas, 2025).

En la etapa final, se forma la nitrosilmioglobina $(MbNO)$, donde el óxido nítrico se une al sexto sitio de coordinación del hierro ferroso en el grupo hemo como se observa en la ecuación (4). Esta unión es altamente específica y genera un complejo estable que modifica la estructura electrónica del sistema de porfirina, produciendo un cambio en la absorción de luz visible y dando como resultado el característico color rojo rosado (Zambrano, 2021).

$$Mb(Fe^{2+}) + NO \leftrightarrow MbNO \quad (4)$$

5.2.2 Estructura química de nitritos, nitratos y su relación con el color de la carne

En el contexto del curado, al someter las carnes con sales nítricas, el óxido nítrico (NO)

liberado establece un enlace con la mioglobina en el músculo, generando nitrosilmioglobina, un pigmento que le confiere un característico tono rojo oscuro. Este compuesto presenta una estabilidad térmica relativa; sin embargo, en presencia de oxígeno y luz, puede oxidarse, formando nitrosometmioglobina, un pigmento marrón que afecta negativamente la apariencia del producto como se ve en la **Figura 1** (Pocoví, 2024).

Durante la cocción, la alta temperatura induce la transformación de estos pigmentos en nitrosilhemocromo, responsable del típico color rosa de productos como el jamón cocido. La intensidad y la aceptación del consumidor de este color dependen de la concentración de nitritos añadidos, que suele oscilar entre 20 y 70 ppm, variando según el tipo de producto. En ausencia de agentes nitrificantes, como ocurre en algunos jamones tradicionales, el hierro del grupo hemo puede ser sustituido por otros metales como el zinc, formando pigmentos alternativos como la protoporfirina de zinc, que presentan tonalidades más claras como se muestra en la **Figura 1** (Pocoví, 2024).

Asimismo, en productos donde se utilizan nitratos, es fundamental controlar el pH, ya que valores inferiores a 5,4 inhiben las bacterias reductoras de nitrato, impidiendo la conversión de nitrato a nitrito y afectando al correcto desarrollo del color (Pocoví, 2024). En conjunto, estas transformaciones reflejan el equilibrio entre las reacciones de oxidación, reducción y nitrosación dentro del sistema cárnico, influyendo directamente en la estabilidad del color, las propiedades visuales y la valoración sensorial del consumidor.

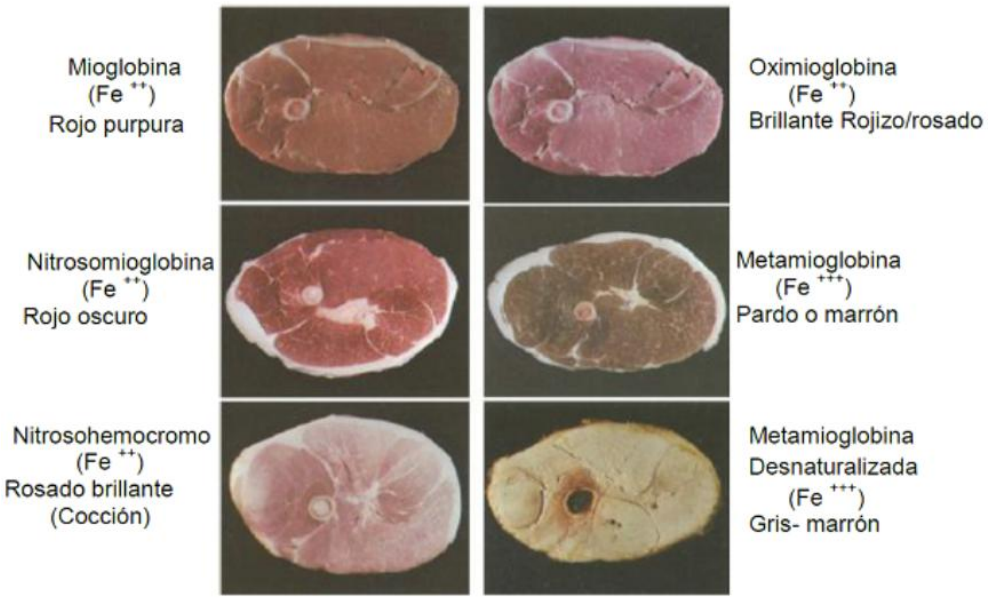


Figura 1. Coloración de la carne según tipo de compuesto formado (Pocoví, 2024).

5.3 Factores que afectan la reactividad

La reactividad de los nitritos en los sistemas cárnicos está determinada por diversos factores fisicoquímicos que influyen directamente en la velocidad y el grado de las reacciones de curado. Entre los más relevantes se encuentran el pH del medio, la concentración de los compuestos implicados y la temperatura, factores que condicionan la formación de especies reactivas como el ácido nitroso (HNO_2) y el óxido nítrico (NO). Estos factores interactúan entre sí, no de forma aislada, modificando el equilibrio químico del sistema y, por consiguiente, la formación y la estabilidad de los pigmentos responsables del color característico de los productos cárnicos. Cada uno de estos factores y su influencia en la reactividad de los nitritos se analizan en detalle a continuación:

5.3.1 pH

El pH es uno de los factores más determinantes en la reactividad del nitrito en los sistemas cárnicos, ya que regula el equilibrio entre sus diferentes formas químicas y, por lo tanto, su capacidad para participar en las reacciones de curado. A medida que disminuye el pH, el equilibrio se desplaza hacia la formación de (HNO_2), aumentando significativamente su proporción en el sistema.

En condiciones típicas de productos cárnicos, como un pH cercano a 5,5 en carnes fermentadas, la concentración de ácido nitroso es considerablemente mayor que en sistemas con un pH más elevado (por ejemplo, 6,5), lo que favorece la generación de óxido nítrico (NO) y potencia la formación de nitrosilmioglobina. Este fenómeno no solo intensifica el color característico de los productos curados, sino que también mejora la eficacia antimicrobiana contra microorganismos, debido a la mayor disponibilidad de especies reactivas derivadas del (HNO_2) (Carvajal & Hidalgo, 2025).

Además, el control del pH se optimiza mediante la incorporación de aditivos como el eritorbato de sodio o el ácido ascórbico, los cuales cumplen una doble función: promueven la reducción del pH local y, por otro, actúan como agentes reductores que aceleran la conversión de nitrito a óxido nítrico. (Choca, 2024).

5.3.2 Temperatura

A medida que se eleva la temperatura, se favorece el movimiento molecular favoreciendo la frecuencia de las colisiones efectivas y, en consecuencia, acelerando la formación de especies reactivas como el óxido nítrico (NO).

Durante la cocción (a temperaturas superiores a 70 °C), se favorece la formación de pigmentos del color característico y se reduce el nitrito residual, disminuyendo así los riesgos toxicológicos.(Cárdenas, 2025)

En cambio, a temperaturas de almacenamiento refrigerado (0–5 °C), las reacciones químicas y microbiológicas se ralentizan considerablemente, lo que resulta en una degradación más lenta del nitrito (Cárdenas, 2025).

5.3.3 Concentración

La concentración de nitrito añadida a los productos cárnicos es un factor crítico que determina el equilibrio entre la eficacia tecnológica y la seguridad alimentaria. A bajas concentraciones, la cantidad de nitrito puede ser insuficiente para ejercer un efecto antimicrobiano adecuado,

especialmente contra bacterias anaerobias, lo que supone una amenaza potencial para la salud. Por el contrario, las concentraciones adecuadas garantizan tanto la estabilidad microbiológica como la formación eficiente del color y el desarrollo del sabor característico (Zhang et al., 2023).

5.4 Formación de compuestos derivados

El uso de nitratos y nitritos en la producción de productos cárnicos curados es esencial para garantizar su seguridad microbiológica y sus propiedades sensoriales características, conlleva el riesgo de formar compuestos potencialmente peligrosos conocidos como N-nitrosaminas $(N-NA)$. Estos compuestos resultan de la reacción química entre agentes nitrosantes como el ácido nitroso (HNO_2) derivado del nitrito y aminas secundarias o terciarias presentes en la carne, las proteínas musculares y los ingredientes necesarios para la preparación de embutidos (Schrenk et al., 2023). La reacción de nitrosación puede producirse durante el procesamiento del producto especialmente en las etapas de curado, maduración, ahumado y cocción o de forma endógena en el organismo humano, principalmente en el estómago, donde el pH ácido del jugo gástrico favorece la conversión del nitrito en ácido nitroso y su posterior reacción con las aminas ingeridas simultáneamente (Carvajal & Hidalgo, 2025).

La dimensión de esta problemática ha sido reconocida por organismos internacionales de seguridad alimentaria. En su dictamen científico publicado en marzo de 2023, el Panel sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM) de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) identificó diez *N*-nitrosaminas carcinógenas cuantificables en los alimentos: *N*-nitrosodimetilamina (NDMA), *N*-nitrosodietilamina (NDEA), *N*-nitrosopirrolidina (NPYR), *N*-nitrosopiperidina (NPIP), *N*-nitrosodietilamina (NMEA), *N*-nitrosodi-n-propilamina (NDPA), *N*-nitrosodi-n-butilamina (NDBA), *N*-nitrosomorfolina (NMOR), *N*-nitrosometil-n-alquilamina (NMA) y *N*-nitrosarcosina (NSAR), denominadas colectivamente TCNA (diez *N*-NA carcinógenas presentes en los alimentos) (EFSA, 2023) algunas de ellas se pueden observar en la **Figura 2**. De estas diez sustancias, se ha demostrado que ocho son genotóxicas tanto *in vitro* como *in vivo*, y todas son carcinógenas en

animales de experimentación, siendo el hígado el principal órgano afectado, seguido del tracto digestivo superior y el sistema urinario (EFSA, 2023). La conclusión de esta evaluación es clara y concluyente: es muy probable que la concentración de nitrosaminas absorbidas por el organismo en la dieta de diversos grupos de población supere el umbral que podría indicar un problema de salud pública, siendo los productos cárnicos procesados la principal fuente de exposición (EFSA, 2023).

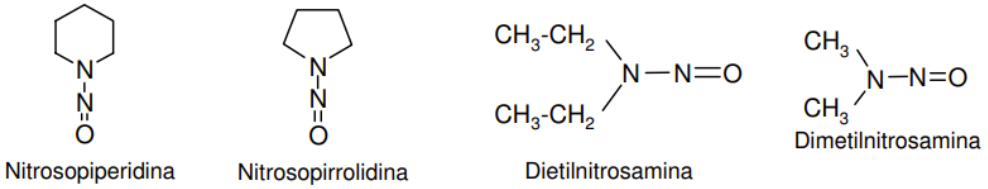


Figura 2. *N*-nitrosaminas carcinógenas (Antón & Lizaso, 2001).

5.4.1 Formación de nitrosaminas

La formación de nitrosaminas en los derivados cárnicos, como se ilustra en la **Figura 3**, no solo representa un proceso químico relevante, sino que también tiene implicaciones directas para la calidad, la seguridad y el valor nutricional de estos alimentos. En los sistemas cárnicos, las aminas secundarias se originan principalmente de la degradación de proteínas y aminoácidos durante el procesamiento, el almacenamiento o la maduración. Cuando estos compuestos reaccionan con el ácido nitroso derivado de los nitritos añadidos, se generan nitrosaminas, especialmente durante tratamientos térmicos intensos como la fritura, el asado o el ahumado, donde se favorecen las condiciones de reacción (Schrenk et al., 2023).

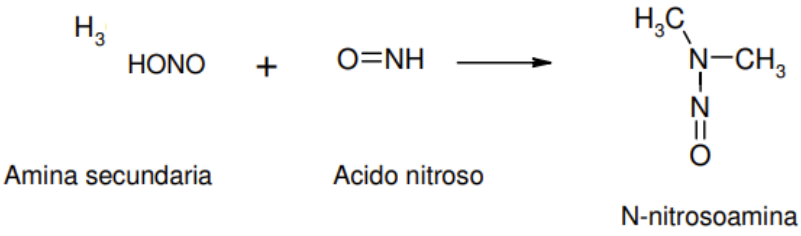


Figura 3. Formación de nitrosaminas (Antón & Lizaso, 2001)

La formación de nitrosaminas en productos cárnicos se asocia también con la microestructura

de la carne. Durante el procesamiento, especialmente en salchichas (productos emulsionados), donde la distribución de grasa y agua genera microambientes con concentraciones variables de aminas y nitritos. Estas condiciones favorecen reacciones de nitrosación localizadas, lo que dificulta su control analítico y tecnológico (Guo et al., 2025).

Asimismo, la oxidación lipídica influye en este proceso. Los compuestos generados, como aldehídos y cetonas, pueden modificar o favorecer las reacciones de nitrosación, incrementando los niveles de compuestos nitrosos y afectando la estabilidad química del producto durante el almacenamiento (EFSA, 2023).

Además, se ha observado que las nitrosaminas influyen indirectamente en la vida útil del producto, ya que su formación se asocia con condiciones que también promueven otras reacciones de degradación, como la desnaturalización de proteínas y la reducción en la capacidad de absorción hídrica. Esto provoca cambios en la textura (productos más secos o duros) y una disminución de la calidad sensorial con el tiempo. Por lo tanto, su presencia no solo constituye un problema toxicológico, sino también un indicador de deterioro tecnológico en los productos cárnicos (Pocoví, 2024).

Un aspecto clave en la evaluación del riesgo de nitrosaminas es el papel fisiológico del óxido nítrico (NO) en el organismo. Este se produce endógenamente a partir de la arginina mediante las enzimas óxido nítrico sintasa (NOS); sin embargo, los nitratos y nitritos de la dieta también contribuyen significativamente a su formación. Esto pone de manifiesto una dualidad, ya que estos compuestos participan tanto en procesos fisiológicos esenciales como en la posible formación de nitrosaminas. Por lo tanto, su impacto debe evaluarse considerando el equilibrio entre los efectos beneficiosos y los potencialmente adversos.

5.5 Seguridad alimentaria y riesgos asociados

Los nitritos y nitratos son compuestos inorgánicos de nitrógeno presentes de forma generalizada en los alimentos, tanto de origen natural como artificial. Según la Norma General del Codex para Aditivos Alimentarios (CXS 192-1995), solo se aprobarán e incluirán los aditivos

alimentarios que, según la evidencia disponible del JECFA (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios), no presenten una amenaza a la seguridad del consumidor en los niveles de uso propuestos. Conforme a este principio, los nitratos (INS 251, INS 252) y los nitritos (INS 249, INS 250) han sido evaluados y autorizados como conservantes en alimentos procesados, siempre que su uso esté debidamente justificado por una necesidad tecnológica demostrada(CODEX 192, 2023).

5.5.1 Toxicidad de nitritos y nitratos

Con base en las evaluaciones toxicológicas acumuladas, el JECFA y la Comisión del Codex Alimentarius han fijado valores de ingesta diaria admisible (IDA) que sirven como referencia mundial (**Tabla 1**). La ingesta diaria admisible es la porción que se puede ingerir diariamente sin ser un riesgo a la salud; por ello la cantidad de aditivo añadido a los alimentos para obtener el efecto deseado se limitará a la dosis mínima necesaria.

Tabla 1. Valores de ingesta diaria admisible para nitritos y nitratos (JECFA, 2002).

Compuesto	IDA establecida	Organismo de referencia	Efecto tóxico base
Nitrato	3,7 mg/kg pc/día	JECFA/ Codex Alimentarius	Metahemoglobinemia
Nitrito	0,07 mg/kg pc/día	JECFA/Codes Alimentarius	Metahemoglobinemia/Nitrosaminas
Nitrosaminas	Sin IDA (genotóxicas)	JECFA	Carcinogénicas/mutagénicas

5.5.2 Efectos en la salud humana

Los efectos de los nitratos y nitritos en la salud humana son de naturaleza dual: pueden ser beneficiosos en ciertos contextos fisiológicos como la producción de óxido nítrico con efectos vasodilatadores (relajación de músculos en las paredes de los vasos sanguíneos provocando ensanchamiento o dilatación de los mismos), pero perjudiciales cuando se acumulan en exceso o se transforman en metabolitos tóxicos. En el caso de los nitratos y nitritos, los efectos documentados incluyen metahemoglobinemia, mayor riesgo cardiovascular y una asociación con neoplasias del tracto digestivo, particularmente cáncer colorrectal y gástrico, vinculadas a la formación endógena de

nitrosaminas (OMS, 2020).

En cuanto a los efectos crónicos, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), en conjunto con la OMS, ha establecido que la ingestión de nitratos y nitritos en condiciones que favorecen la generación endógena de compuestos *N*-nitrosos es probablemente carcinógena para los humanos (Grupo 2A) (**Tabla 2**). Esta clasificación se basa en evidencia epidemiológica que vincula la ingesta de productos cárnicos procesados que contienen nitritos con un mayor riesgo de cáncer colorrectal, y fue confirmada por el dictamen de la EFSA sobre nitrosaminas en 2023.

Tabla 2. Efectos en la población según el nivel y tipo de exposición de nitritos y nitratos (IARC, 2015).

Tipo de exposición	Efecto principal en la salud	Población más afectada
Crónica/moderada en carnes	Cáncer colorrectal, gástrico	Adultos, consumidores de carne procesada
Crónica/ alta dosis en agua	Cáncer colorrectal y de próstata	Adultos con exposición prolongada
Formación de nitrosaminas	Daño genotóxico/ mutagénico	Todos los grupos de edad
Difusión tiroidea	Alteración endocrina	Adultos con ingesta sostenida alta

5.5.3 Normativa nacional e internacional

A nivel internacional, la regulación de nitratos y nitritos en los alimentos se basa en el sistema conjunto FAO/OMS, a través del Codex Alimentarius (actualizada en 2023), la cual establece los límites y las condiciones para el uso de estos compuestos como aditivos: nitritos (INS 249 y 250) y nitratos (INS 251 y 252). En los productos cárnicos curados, los niveles máximos permitidos suelen oscilar entre 100 y 150 mg/kg para los nitritos añadidos y hasta 150-300 mg/kg para los nitratos, según el tipo de producto. Además, el Comité del Codex sobre Aditivos Alimentarios (CCFA), basándose en las evaluaciones del JECFA, estipula que estos aditivos deben utilizarse según el principio de dosis mínima necesaria, es decir, solo la cantidad suficiente para garantizar su función tecnológica sin comprometer la salud.

En cuanto a la exposición dietética, el Comité Europeo Conjunto para la Seguridad Alimentaria (JECFA) ha establecido valores de IDA de 0–0,07 mg/kg de peso corporal para el nitrito (expresado como ion nitrito) y de 0–3,7 mg/kg para el nitrato, lo que permite evaluar el riesgo dietético acumulativo.

En Ecuador, la regulación de nitratos y nitritos en alimentos está bajo el control de la ARCSA y el Ministerio de Salud Pública. La normativa nacional estipula que, cuando las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN) no estén actualizadas, se podrán adoptar, como medida subsidiaria, las directrices del Codex Alimentarius, la FDA o las normativas de la Unión Europea.

El marco técnico nacional se basa en las normas INEN, que define el proceso de curado y el uso tecnológico de nitratos y nitritos en productos cárnicos (**Tabla 3**).

Tabla 3. Marco normativo nacional de nitritos y nitratos (INEN 1338, 2012).

Instrumento normativo	Institución	Objeto	Estado
Resolución ARCSA-DE-2022-016-AKRG	ARCSA/MSP	Normativa Técnica Sanitaria para alimentos procesados y BPM	Vigente
NTE INEN 1338	INEN	Requisitos para productos cárnicos crudos, curados y cocidos.	Vigente
NTE INEN 2074	INEN	Lista positiva de aditivos alimentarios permitidos	Vigente
NTE INEN 0784	INEN	Determinación de nitritos en carne y productos cárnicos	Vigente
RTE INEN 056	INEN/MSP	Requisitos para carne y productos cárnicos	Vigente
RTE INEN 022 (2R)	INEN/MSP	Rotulado de alimentos procesados (declaración de aditivos)	Vigente
Codex CXS 192-1995	FAO/OMS	Límites de aditivos	Adaptado / Vigente

5.6 Métodos analíticos

El estudio de nitritos y nitratos en productos cárnicos ha generado una considerable producción científica a nivel mundial. Una reciente revisión sistemática que abarcó las bases de datos

Web of Science, ScienceDirect y Scopus identificó publicaciones sobre métodos analíticos para estos compuestos entre 2008 y 2024 (Palhano et al., 2025), reuniendo un total de 2026 registros de concentraciones de nitritos y nitratos en alimentos cárnicos procesados. En este contexto, es pertinente presentar un resumen comparativo de las técnicas más utilizadas, como se muestra en la **Tabla 4**, que recopilan algunos de los métodos utilizados en Latinoamérica e internacionalmente.

Tabla 4. Métodos analíticos para la determinación de nitritos y nitratos.

Método	Tipo	Principio	País	Bibliografía
UV-Vis (Griess)	Colorimétrico	Formación de un azo-compuesto medido a 540 nm	Ecuador	Mora-Elizondo (2021)
UV-Vis + reducción	Colorimétrico	Reducción a nitrito y reacción de Griess	Ecuador	Vera (2023)
HPLC-UV	Cromatográfico	Separación cromatográfica con detección UV	Ecuador	Carvajal & Hidalgo (2025)
Cromatografía iónica	Cromatográfico	Separación por intercambio iónico con detección conductimétrica	Ecuador	Choca-Pérez (2024)
LC-MS	Espectrométrico	Detección por relación masa/carga (m/z)	Egipto	Tayel et al. (2025)
UV-Vis (adaptado)	Colorimétrico	Método Griess modificado en matrices cárnicas	Ecuador	Zambrano (2021)
UV-Vis (nitratos)	Colorimétrico	Reducción química y medición espectrofotométrica	Ecuador	Cárdenas et al. (2025)
HPLC (fase reversa)	Cromatográfico	Separación en columna de fase reversa	Argentina	Villamil-Galindo et al (2021)
Cromatografía iónica avanzada	Cromatográfico	Intercambio iónico con alta resolución	México	Bazán-Lugo (2008)
LC-MS/MS	Espectrométrico	Detección en tándem de alta precisión	China	Guo et al. (2025)

La espectroscopia UV-Vis con reactivo de Griess detecta nitritos a 540 nm mediante la formación de un compuesto azoico de color fucsia. Cuando se requiere la cuantificación de nitratos, se incorpora una etapa de pre-reducción con una columna de cadmio o zinc, aunque esto presenta limitaciones de selectividad en matrices grasas o especiadas (Mazumdar et al., 2022). La HPLC-UV, tanto en columnas de intercambio aniónico como en cromatografía de fase inversa C18, separa físicamente ambos iones antes de la detección, suprimiendo las interferencias generadas por los

componentes del alimento y permitiendo la cuantificación simultánea. La cromatografía iónica de supresión electroquímica ofrece mayor sensibilidad para los nitratos y permite visualizar la interconversión nitrito-nitrato durante el almacenamiento (García et al., 2024). Finalmente, la LC-MS y la LC-MS/MS se utilizan para la evaluación de N-nitrosaminas, identificando cada compuesto por su masa molecular exacta y patrón de fragmentación. La versión en tándem añade una segunda etapa de fragmentación que logra una sensibilidad superior, convirtiéndola en la herramienta más fiable para verificar el cumplimiento normativo en matrices complejas como el chorizo crudo o los productos ahumados.

5.7 Resultados y Discusión

5.7.1 Contexto Ecuatoriano

La interpretación de los niveles de nitrato y nitrito en productos cárnicos ecuatorianos requiere considerar la química de la matriz, ya que esto determina la fiabilidad del método y explica por qué estudios similares pueden reportar concentraciones tan diferentes (Mazumdar et al., 2022). La matriz cárnica es analíticamente compleja ya que contiene proteínas miofibrilares, una fase lipídica variable, pigmentos hemo, azúcares reductores y aditivos tecnológicos como fosfatos, ascorbato y sal de curado, cada uno de los cuales puede interferir con la extracción o detección de nitrito de manera no uniforme dependiendo del contenido de grasa, especias, pH y grado de procesamiento (Mazumdar et al., 2022). Además, el nitrito no permanece estático: reacciona simultáneamente para formar óxido nítrico y N-nitrosaminas. Por lo tanto, los métodos actuales solo cuantifican el nitrito residual (la fracción de nitrito que no participó en ninguna de estas reacciones), cuya cantidad depende del tiempo de curado, la temperatura y la composición de la mezcla (Mortensen et al., 2017).

Tabla 5. Métodos analíticos en productos cárnicos aplicados en Ecuador.

Estudio	Institución	Producto analizado	Método	Analito	LOD	Resultado principal	Norma referencia
Hidalgo & Carvajal (2025)	Universidad Central del Ecuador	Chorizo comercial y artesanal (26 muestras, 3 mercados de Quito)	HPLC-UV	Nitrito	0,1 mg/kg	3 muestras superaron el límite (11,5 %)	Codex ≤ 80 mg/kg
Cárdenas et al. (2025)	Universidad Nacional de Chimborazo	Chorizos comercializados en Riobamba	UV-Vis (Griess)	Nitrito	1,2 mg/khg	Diferencias significativas entre marcas; no diferencias significativas en puntos de venta	NTE INEN 1338/CODEX CXS 192-1995
Zambrano (2021)	Universidad Nacional de Chimborazo	Salchicha Vienesa (formulaciones experimentales con sustitución de nitrito por extracto de espinaca)	UV-Vis adaptado	Nitrito residual	0,8 mg/kg	Reducción significativa del nitrito residual al aumentar el extracto de espinaca	NTE INEN 1338/ CODEX CXS 192-1995
Vera (2023)	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Lomo fino de cerdo curado con extracto y polvo de apio	UV-Vis con reducción previa	Nitrito residual	1,0 mg/kg	Niveles de ingesta de nitritos incierta	
Mora-Elizondo (2021)	Universidad Nacional de Cuenca	Salchichón	UV-Vis	Nitrito	0,5 mg/kg	Concentración: 45 ± 5 mg/kg; rango lineal 0,072-0,529 mg/L; R^2 = 0,992	Límite de referencia <125 mg/kg

Como se indica en la **Tabla 5**, todos los estudios, excepto el de Hidalgo & Carvajal (2025), utilizan la reacción de Griess, cuya principal limitación en matrices de carne es su falta de selectividad, debido a que las aminas aromáticas de las especias pueden interferir generando señales falsamente altas, mientras que los productos de oxidación de lípidos del chorizo comercial pueden bloquear la

reacción y producir lecturas falsamente bajas.

Mora Elizondo (2021) mitigó parcialmente este problema utilizando el método de adición estándar en una salchicha comercial, agregando cantidades conocidas de $NaNO_2$ directamente a la muestra. Obteniendo un valor de 45 ± 5 mg/kg con R^2 = 0,992, el cual está por debajo del límite de referencia de 125 mg/kg. Sin embargo, este resultado solo refleja el nitrito que queda después de la cocción a la que se sometió y no a la concentración inicial de más de 98 mg/kg que coincide con la formación de nitrosaminas. Además, el método parte de la base de que las sustancias interferentes permanecen inalteradas ante el aumento de nitrito, una premisa aceptable en matrices estables como la salchicha cocida, pero de validez limitada en productos crudos como el chorizo.

Por otro lado, Zambrano (2021) cuantificó el nitrito residual en salchicha vienesa elaborada con diferentes proporciones de nitrato sintético y extracto de espinaca obteniendo un LOD = 0,8 mg/kg. El uso de espinaca se basa en su alto contenido de nitratos naturales (hasta 2 g/kg), que son reducidos enzimáticamente a nitrito por bacterias como *Micrococcus* y *Staphylococcus* presentes en la matriz cárnica. Esta conversión gradual evita picos de nitrito libre y reduce su disponibilidad para reaccionar con aminas secundarias durante el calentamiento. Aunque todos los tratamientos cumplieron con las regulaciones en el momento de la producción, el análisis puntual no tiene en cuenta que el nitrato residual puede seguir disminuyendo durante el almacenamiento, elevando la concentración de nitrito a 130–140 mg/kg en el momento del consumo y, por lo tanto, superando los límites permitidos (Zambrano, 2021).

Vera (2023) se enfrentó a un desafío analítico diferente al cuantificar nitrito y nitrato en lomo de cerdo curado con apio mediante espectroscopia UV-Vis con reducción previa (LOD 1,0 mg/kg). Dado que la reacción de Griess no detecta directamente NO_3^-, seguidamente el extracto se dirige hacia la columna de cadmio o zinc donde ocurre la reducción NO_3^- a NO_2^-, y la reacción de Griess cuantifica la suma de ambos. Esto es relevante porque las carnes curadas con fuentes vegetales incorporan un exceso de nitrato para asegurar una conversión bacteriana suficiente, por lo que los

consumidores pueden ingerir más compuestos nitrogenados totales que con una carne curada sintética con la dosis adecuada (mayor a los 90-150 mg/kg) (Vera, 2023), aunque el análisis convencional no lo detecte. La percepción de que las carnes curadas "naturales" son inherentemente más seguras carece de respaldo analítico cuando los métodos no cuantifican el nitrato residual con suficiente precisión como es el caso.

La limitación estructural de los métodos colorimétricos es precisamente lo que resuelve el método HPLC-UV de Carvajal & Hidalgo (2025) en el encontraron que tres de las 26 muestras de chorizo en Quito excedían el límite establecido por el Codex CXS 192-1995 de 80 mg/kg, con valores de 164,5 mg/kg en una muestra comercial y de 123,7 mg/kg y 95,6 mg/kg en dos muestras artesanales como se muestra en la **Figura 4**. Desde la perspectiva de la química de los alimentos, un valor de 164,5 mg/kg no solo constituye un incumplimiento normativo, sino que también implica una disponibilidad de nitrito libre para la nitrosación de aminas secundarias (Carvajal & Hidalgo, 2025). Además, incluso valores aparentemente dentro del estándar, como 95,6 mg/kg, plantean interrogantes analíticos legítimos debido a la interferencia negativa de la oxidación lipídica característica del chorizo. Esto plantea dudas sobre cuántos productos de estudios previos cumplieron con el estándar debido a limitaciones del método en lugar de un cumplimiento real (Carvajal & Hidalgo, 2025).

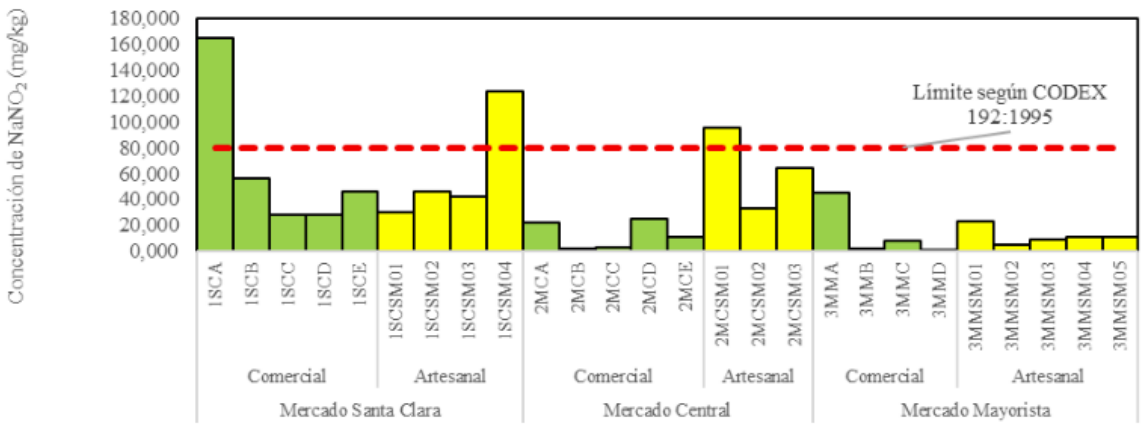


Figura 4. Resultados de concentración de nitrito en muestras de chorizo comercial y Artesanal (Carvajal & Hidalgo, 2025)

Por último, Cárdenas et al. (2025) documentó variaciones entre marcas sin diferencias significativas entre puntos de venta, lo que sitúa el origen de la heterogeneidad en la formulación, más que en la distribución, lo que demuestra que los productores dosifican la sal de curado sin verificación analítica del producto final obtenido concentraciones superiores a los 98 ppm. Además, dado que el método colorimétrico utilizado subestima el nitrito en matrices grasas debido a las pérdidas durante la precipitación de proteínas, los valores reales podrían ser superiores a los reportados, y la proporción de muestras no conformes podría ser mayor de lo que sugieren los datos colorimétricos que se observan en la **Figura 5**.

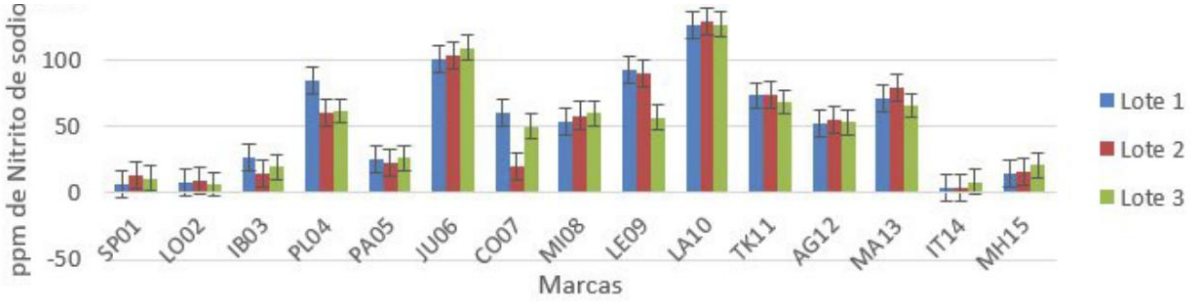


Figura 5. Histograma variabilidad de concentración de nitritos (Cárdenas et al., 2025)

El contraste con los estudios de Zambrano (2021) y Vera Pontón (2023) demuestra que el incumplimiento no se debe a limitaciones tecnológicas, sino a fallos en la monitorización y el control del producto final.

5.7.2 Contexto latinoamericano e internacional

Como se muestra en la **Tabla 6**, los estudios latinoamericanos e internacionales abordan la determinación de nitritos, nitratos y *N*-nitrosaminas desde una perspectiva cualitativamente diferente a la de los estudios ecuatorianos: mientras que estos últimos cuantifican el nitrito residual como indicador del proceso, los estudios internacionales también evalúan los compuestos *N*-nitrosos formados durante el procesamiento y la cocción, los cuales son directamente responsables del riesgo carcinogénico (JECFA, 2002). Esta diferencia de enfoque determina qué preguntas puede responder cada sistema analítico y qué garantías de seguridad puede ofrecer al consumidor.

Un principio común distingue estructuralmente a todos los métodos de la **Tabla 6**, que es la separación cromatográfica previa a la detección, la cual es una condición esencial para obtener resultados fiables en matrices cárnicas complejas, ya que estas generan interferencias que ningún método colorimétrico puede eliminar por completo (Palhano et al., 2025). Solo la separación física previa del analito garantiza que la señal detectada corresponda exclusivamente al compuesto de interés, lo que convierte a estos métodos en las únicas herramientas capaces de verificar de manera confiable el cumplimiento normativo en matrices tan complejas como el chorizo crudo o los productos ahumados (Palhano et al., 2025).

Tabla 6. Métodos analíticos en productos cárnicos aplicados en Latinoamérica e internacionalmente.

Estudio	Institución	Producto analizado	Método	Analito	LOD	Resultado principal	Norma referencia
Villamil-Galindo et al. (2021)	Universidad Nacional del litoral/ CONICET, Argentina	Revisión de productos cárnicos curados (embutidos, jamones, fermentados)	HPLC fase reversa	Nitrito	0,2 mg/kg	Variación en nitrito residual en función de modelo matemático	Codex CXS 192-1995
Bazán Lugo (2008)	Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México	Embutidos cárnicos curados (análisis de mercado)	Cromatografía iónica avanzada	Nitrato	0,06 mg/kg	LOD superior al método convencional debido a niveles elavados de nitratos	Norma Oficial Mexicana/CODEX CXS 192-1995
Tayel et al. (2025)	Instituto de Salud Pública, Universidad de Alejandría, Egipto	Hotdogs, salchichas, hamburguesas, fiambres y carnes de res ahumada	LC-MS	*N*-nitrosaminas	0,01 µg/kg	Hotdogs: 159,24 ± 87,99 µg/g; salchichas: 2,36 µg/g; hamburguesas: 2,37 µg/g; NTCA en carne ahumada: hasta 4.227,492 µg/kg	Sin un límite establecido máximo (EFSA 2023 / principio ALARA).
Guo et al. (2025)	Universidad de Jinan/ Lab. Nacional de Referencias de Aditivos, China	Carnes y pescado procesados	LC-MS/MS	*N*-nitrosaminas	0,005 µg/kg	*N*-nitrosaminas: ≤ 5,5 µg/kg en condiciones normales; valores más altos en productos ahumados y fritos.	GB 2762-2017 (China): NDMA ≤ 3 µg/kg en carne / Codex (en desarrollo)

Como se muestra en la **Tabla 5** Villamil-Galindo et al. (2021) cuantifico los nitritos residuales en salchichas comerciales mediante HPLC (LD = 0,2 mg/kg), identificando dos rangos según el nivel de control del proceso. En productos formulados correctamente, el nitrito residual osciló entre 10 y 80 mg/kg, lo que refleja un curado eficiente donde el nitrito añadido se consumió en reacciones con mioglobina, ascorbato y degradación térmica. En productos con exceso de nitrito, los valores alcanzaron los 150 mg/kg, el límite formalmente permitido por el Codex CXS 192-1995, pero indicativo de un curado ineficiente (saturación de mioglobina, agotamiento prematuro de ascorbato o tiempo de curado insuficiente), lo que deja nitrito libre disponible para reaccionar con aminas secundarias. Esto demuestra que el cumplimiento del límite residual no garantiza la ausencia de formación de nitrosaminas.

Por otro lado, Bazán Lugo (2008), cuantificó nitratos en embutidos curados mediante cromatografía iónica con supresión electroquímica, el cual resuelve la sensibilidad del detector al convertir el eluyente en agua pura mediante intercambio iónico antes de que llegue al detector, eliminando esta conductancia de fondo y explicando el límite de detección (LOD) alcanzado de 0,06 mg/kg, veinte veces más sensible que los métodos ecuatorianos para nitrito.

Tabla 7. Nitratos y nitritos en productos cárnicos (Bazan Lugo, 2008).

E No.	Nombre	Alimento tratado	Cantidad agregada durante su elaboración (mg/Kg)	Cantidad residual (mg/Kg)
E249	Nitrito de potasio	No tratados térmicamente y productos cárnicos secos	150	50
E250	Nitrito de sodio	Otros productos cárnicos curados (tocino curado)	150	100
E251	Nitrato de sodio	Productos cárnicos curados	300	175
E252	Nitrato de potasio	Productos cárnicos curados	300	250

Las concentraciones residuales de nitrato como se muestran en la **Tabla 7** variaron de 50 a 300 mg/kg según el tipo de producto, en jamones y embutidos de curación lenta, los valores más altos (hasta 300 mg/kg) reflejaron una conversión bacteriana incompleta o una falta de control analítico, mientras que, en embutidos de curación rápida, los niveles fueron más bajos (50-100 mg/kg), dentro de los límites reglamentarios (Bazan-Lugo, 2008). El hallazgo más relevante es que el método utilizado permite visualizar el ciclo de interconversión nitrito-nitrato durante el almacenamiento, una dimensión completamente invisible para los métodos colorimétricos de la **Tabla 5** que no detectan nitrato.

En cuanto a Tayel et al. (2025), cuantificaron las N-nitrosaminas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS) en salchichas, embutidos, hamburguesas, fiambres y carne ahumada. Los resultados mostraron diferencias notables entre los productos: las salchichas contenían 159,24 ± 87,99 μg/g, con un MOE (Margen de Exposición) muy inferior a 10 000, lo que constituye un riesgo inaceptable según la EFSA. Las salchichas (2,36 μg/g) y las hamburguesas (2,37 μg/g) presentaron valores 67 veces inferiores, lo que demuestra que la composición específica

del producto determina el riesgo más que el tipo genérico de carne procesada (Tayel et al., 2025).

La diferencia se atribuye a la emulsión de grasa en las salchichas, es en la interfaz entre las gotas de grasa y la fase acuosa, el nitrito libre y las aminas secundarias se concentran, generando microambientes altamente reactivos donde la nitrosación se produce intensamente. La elevada desviación estándar también refleja la variabilidad entre marcas, dependiendo de la composición de la emulsión, el pH y la relación ascorbato/nitrito, un factor que puede inhibir o catalizar la nitrosación.

Guo et al. (2025) reportaron contenidos totales de nitrosaminas de hasta 5,5 µg/kg mediante LC-MS/MS (LOD = 0,005 µg/kg), con *N*-nitrosodimetilamina (NDMA) entre 0,7 y 2,7 µg/kg y *N*-nitrosodietilamina (NDEA) entre 0,04 y 0,9 µg/kg, ambas clasificadas como probables carcinógenos humanos del Grupo 2A por la IARC. Si bien la mayoría de los productos cumplían con el límite chino GB 2762-2017 (NDMA ≤ 3 µg/kg), los productos ahumados o fritos lo superaban debido a que el calor intenso y la combustión aceleran la reacción entre el nitrito residual y las aminas secundarias, aumentando la formación de nitrosaminas más allá de lo que ocurre en productos simplemente cocinados.

Para ilustrar la brecha analítica con el sistema ecuatoriano: el método colorimétrico de Cárdenas Gaspata detecta nitritos a partir de 1200 µg/kg, mientras que Guo et al. (2025) detectan nitrosaminas desde 0,005 µg/kg. Esto significa que el sistema nacional de monitoreo es 240 000 veces menos sensible y, además, mide el precursor (nitrito) en lugar del compuesto directamente carcinógeno. En consecuencia, un producto cárnico ecuatoriano podría cumplir formalmente con los límites de nitritos y, al mismo tiempo, contener concentraciones inaceptables de NDMA o NDEA según las normas de la EFSA, sin que ningún método nacional actual sea capaz de detectarlo.

5.8 Alternativas del uso de nitritos y nitratos

Los riesgos asociados al nitrito sintético han impulsado el desarrollo de estrategias para reducir su concentración en productos cárnicos sin comprometer la seguridad microbiológica ni las propiedades sensoriales. Como se muestra en la **Tabla 8**, estas alternativas se pueden clasificar en tres

categorías: extractos polifenólicos vegetales como antioxidantes, tecnologías no térmicas como el procesamiento a alta presión (HPP) y cultivos iniciadores microbianos con bacteriocinas. Cada enfoque ofrece ventajas específicas, pero también limitaciones que afectan su viabilidad industrial.

Tabla 8. Alternativas al uso de nitritos y nitratos.

Alternativa	Mecanismo de acción	Producto aplicado	Resultado principal	Limitación	Bibliografía
Extractos polifenólicos	Inhibición de oxidación lipídica	Lomo curado seco y embutidos cocidos	Reducción hasta el 50 % del nitrito añadido sin afectar la estabilidad oxidativa	Actividad microbiana insuficiente frente al *C. Botulium*	Cava et al. (2024)
Alta presión hidrostática (HPP,400-600 MPa)	Destrucción física de microorganismos patógenos sin calor (reducción del nitrito)	Jamón Ioncheado; Salchichas y embutidos fermentados	Reducción a 37,5 mg/kg de nitrito sin pérdida de estabilidad oxidativa	Alto costo de equipamiento para productores artesanales	Lopex et al. (2025)
Cultivos iniciadores con bacteriocinas	Producción de bacteriocinas y ácidos orgánicos que limita la nitrosación	Embutidos fermentados	Inhibición de patógenos sin nitrito añadido	Requiere control estricto de temperatura y fermentación	Shakil et al. (2022)

Los extractos polifenólicos de plantas como el romero, la cáscara de granada y los cítricos inhiben principalmente la oxidación lipídica en la matriz cárnica, reduciendo la disponibilidad de aldehídos y cetonas que promueven la nitrosación (Ferysiuk & Wójciak, 2020). A diferencia de las fuentes vegetales ricas en nitratos, estos extractos no aportan nitrato convertible y, por lo tanto, no generan nitrito residual adicional durante el almacenamiento. Sin embargo, su capacidad antimicrobiana contra *Clostridium botulinum* es insuficiente como sustituto total del nitrito, razón por la cual generalmente se utilizan en combinación con dosis reducidas de nitrito sintético, logrando reducciones de hasta el 50% en la cantidad añadida sin afectar la estabilidad oxidativa del producto (Cava et al., 2024).

El procesamiento por alta presión hidrostática (HPP) representa una alternativa tecnológica con un mecanismo distintivo, ya que la aplicación de presiones de 400–600 MPa destruye físicamente microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp*. sin generar calor, lo que permite la reducción o eliminación de nitrito sin comprometer la seguridad microbiológica (Lopez et al., 2021). Andrade et al. (2025) demostraron que la combinación de HPP con dosis reducidas de nitrito (37,5 mg/kg) mantiene la estabilidad del color y limita la oxidación lipídica de forma comparable a los controles con dosis estándar. La principal limitación de esta tecnología es su costo de implementación, lo que restringe su adopción a grandes procesadores industriales, haciéndola inviable en el contexto artesanal ecuatoriano.

Los cultivos iniciadores microbianos con producción de bacteriocinas, basados en cepas seleccionadas de *Lactobacillus* y *Pediococcus*, constituyen la alternativa con mayor potencial biotecnológico. Estas bacterias inhiben los patógenos mediante la producción de bacteriocinas y ácidos orgánicos, y su actividad acidificante reduce el pH de la matriz, limitando la formación de nitrosaminas (Shakil et al., 2022). Sin embargo, su implementación requiere un control estricto de la temperatura y el tiempo de fermentación, y su eficacia depende de la composición microbiana inicial del producto, lo que aumenta la variabilidad entre lotes y limita su aplicabilidad a pequeños productores (Kim et al., 2025).

5.9 Conclusiones

1. En este estudio, se revisaron bibliográficamente 10 publicaciones científicas sobre la concentración de nitritos, nitratos y *N*-nitrosaminas determinadas mediante métodos colorimétricos y cromatográficos en matrices de productos cárnicos procesados (chorizos, salchichas, perritos calientes y embutidos fermentados) de varios países, entre ellos Ecuador, Argentina, México, Egipto y China, de las cuales 5 correspondían a estudios realizados en Ecuador.
2. Se observó un comportamiento dinámico de los nitritos y nitratos en las matrices cárnicas: a

pH 5,5, la proporción de ácido nitroso activo es mayor que a pH 6,5, lo que intensifica las reacciones de nitrosación; y a temperaturas superiores a 70 °C, lo que significa que el nitrito residual disminuye significativamente, reduciendo tanto la disponibilidad de nitrito libre para reaccionar con aminas secundarias como la eficacia antimicrobiana del producto.

3. Se analizó la formación de *N*-nitrosaminas compuestos clasificados como probablemente carcinógenos para los humanos (Grupo 2A, IARC), durante el proceso de curado, revelando que se generan inevitablemente cuando el ácido nitroso reacciona con aminas secundarias bajo tratamientos térmicos intensos (temperaturas superiores a 150 °C). Las concentraciones oscilaron entre 5,5 µg/kg en carnes cocidas y 159,24 µg/g en embutidos en estudios realizados en Egipto y China superando así el umbral de riesgo aceptable según la EFSA (MOE < 10 000).
4. Las concentraciones de nitrito en productos ecuatorianos (principalmente chorizo comercial y artesanal de Quito y Riobamba) oscilaron entre 45 y 164,5 mg/kg, superando en varios casos el límite de 80 mg/kg establecido por el Codex Alimentarius. Esto evidencia una deficiencia estructural en el control de calidad del producto final, agravada por el uso de métodos colorimétricos (UV-Vis con reactivo de Griess) que subestiman los niveles reales en las matrices grasas, lo que implica que el verdadero alcance del incumplimiento podría ser mayor que el reportado.
5. Se identificaron tres alternativas al uso de nitritos y nitratos los cuales son: extractos polifenólicos vegetales, procesamiento a alta presión hidrostática (HPP, 400–600 MPa) y cultivos iniciadores a base de bacteriocinas. Ninguna elimina por completo el nitrito, y el curado de vegetales puede elevar las concentraciones a 130–140 mg/kg durante el almacenamiento, por lo que la percepción de mayor seguridad en los productos curados naturalmente carece de respaldo científico.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antón, A., & Lizaso, J. (2001). FUNDACIÓN IBÉRICA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Ronda de Poniente.

Bazan Lugo, E. (2008). Dialnet-NitritosYNitratosSuUsoControlYAlternativasEnEmbuti-3664829 (2).

Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. Meat Science, 120, 85–92. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2016.03.009

Cárdenas Gaspata Alan Joel. (2025). DECLARATORIA DE AUTORÍA.

Cava, R., Ladero, L., Riaguas, E., & Vidal-Aragón, M. C. (2024). Assessing the Impact of Pomegranate Peel Extract Active Packaging and High Hydrostatic Pressure Processing on Color and Oxidative Stability in Sliced Nitrate/Nitrite-Reduced Iberian Dry-Cured Loins. Foods 2024, Vol. 13, Page 360, 13(3), 360. https://doi.org/10.3390/FOODS13030360

Choca Pérez Evelyn Patricia. (2024). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE AGROINDUSTRIA.

CODEX 192. (2023). Codex Alimentarius Commission Procedural Manual. Codex Alimentarius Commission Procedural Manual. https://doi.org/10.4060/CD7978EN

EFSA. (2023). Risk assessment of N-nitrosamines in food. EFSA Journal, 21(3), e07884. https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2023.7884

Ferysiuk, K., & Wójciak, K. M. (2020). Reduction of Nitrite in Meat Products through the Application of Various Plant-Based Ingredients. Antioxidants 2020, Vol. 9, Page 711, 9(8), 711. https://doi.org/10.3390/ANTIOX9080711

García, Y. N. B., Fuentes, J. A. M., Aguilera, H. D. M., Toro, V. P. C., Fernández, S., Baca, J., Torres, M., Gutierrez, Y., Padilla, R., & Ore, F. (2024). Determinación de nitritos por espectrofotometría UV visible en productos embutidos de tipo jamón. South Florida Journal of

Development, 5(4), e3838. https://doi.org/10.46932/sfjdv5n4-013

Glynn, S. A., & Filomeni, G. (2023). Exploring the nuances of nitric oxide in cancer. Nitric Oxide, 133, 22–23. https://doi.org/10.1016/J.NIOX.2023.01.001

Hidalgo A., A., & Carvajal B., E. (2025). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS NITRITOS PRESENTES EN EL CHORIZO COMERCIAL Y ARTESANAL EN LOS MERCADOS DE LA CIUDAD DE QUITO PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR. InfoANALÍTICA, 13(2), 12–20. https://doi.org/10.26807/ia.v13i2.297

IARC. (2015). IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat. http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/Monographs-Q&A_Vol114.pdf

INEN 1338. (2012). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

JECFA. (2002). Food safety and quality: Sustancias químicas (JECFA). https://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/es/

Joel Cárdenas Gaspata, A., & Joel Cárdenas Ga, A. (2025). DECLARATORIA DE AUTORÍA.

Kim, M., Bae, S. M., Yoo, Y., Park, J., & Jeong, J. Y. (2025). Clean-Label Strategies for the Replacement of Nitrite, Ascorbate, and Phosphate in Meat Products: A Review. Foods 2025, Vol. 14, Page 2442, 14(14), 2442. https://doi.org/10.3390/FOODS14142442

Lopez, C. M., Dallolio, G., Bonilauri, P., & Rebecchi, A. (2021). Strategies for nitrite replacement in fermented sausages and effect of high pressure processing against salmonella spp. And listeria innocua. Foods, 10(11), 2617. https://doi.org/10.3390/FOODS10112617/S1

Mary H. Ward 1, *, Rena R. Jones 1 ID, LastName, T. M. de K. 3, LastName, P. J. W. 4, Bernard T. Nolan 5, & LastName, C. M. V. 6,7,8,9 I. and S. G. van B. 3. (2018). Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review.

Mazumdar, R. M., Sharif, M., Khan, T. A., Rahman, M. M., & Abdullah, A. T. M. (2022). Simultaneous determination of nitrite and nitrate in meat and meat products using ion-exchange chromatography. Food Research, 6(3), 145–152.

https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(3).339

Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Dusemund, B., Frutos, M. J., Galtier, P., Gott, D., Gundert-Remy, U., Lambré, C., Leblanc, J. C., Lindtner, O., Moldeus, P., Mosesso, P., Oskarsson, A., Parent-Massin, D., Stankovic, I., Waalkens-Berendsen, I., Woutersen, R. A., … Younes, M. (2017). Re-evaluation of sodium nitrate (E 251) and potassium nitrate (E 252) as food additives. EFSA Journal, 15(6). https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2017.4787

OMS. (2020). Recomendações sobre o uso de máscaras no contexto da COVID-19. World Health Organization, 1–17. https://apps.who.int/iris/handle/10665/332293

Onuma, K., Suenaga, Y., Sakaki, R., Yoshitome, S., Sato, Y., Ogawara, S., Suzuki, S., Kuramitsu, Y., Yokoyama, H., Murakami, A., Hamada, J., Nicolson, G. L., Kobayashi, M., Fujii, J., & Okada, F. (2011). Development of a quantitative bioassay to assess preventive compounds against inflammation-based carcinogenesis. Nitric Oxide, 25(2), 183–194. https://doi.org/10.1016/J.NIOX.2011.02.003

Palhano, P. A. A., Almeida, I. P., Marins-Gonçalves, L., & De Souza, D. (2025). Electroanalytical detection of nitrates, nitrites, and N-nitrosamines in foods. Food Chemistry, 492, 145468. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145468

Pocoví, M. (2024). GastroWiki - Blog sobre Gastronomía. https://gastroalianza.es/gastrowiki/articulo/los-nitritos-de-la-carne-las-dos-caras-de-la-moneda

Roger Zambrano. (2021). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA "SUSTITUCIÓN DEL NITRITO DE SODIO POR EXTRACTO DE ESPINACA (SPINACIA OLERACEA) Y SU INFLUENCIA EN LA.

Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J. C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Schwerdtle, T., Vleminckx, C., Wallace, H., Romualdo, B., Cristina, F., Stephen, H., … Grasl-Kraupp, B. (2023).

Risk assessment of N-nitrosamines in food. EFSA Journal, 21(3), e07884. https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2023.7884

Shakil, M. H., Trisha, A. T., Rahman, M., Talukdar, S., Kobun, R., Huda, N., & Zzaman, W. (2022). Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. Foods 2022, Vol. 11, Page 3355, 11(21), 3355. https://doi.org/10.3390/FOODS11213355

TAMARA ALEXANDRA VERA PONTÓN. (2023). “ESTUDIO DEL EFECTO DEL EXTRACTO DE APIO (Apium graveolens) COMO CONSERVANTE Y SUSTITUTO DE NITRITO Y NITRATO EN EL PROCESO DE CURADO DEL CORTE DE LOMO FINO DE CERDO.” https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ebf2e1f8-94e2-46ba-b8fa-0a482aa20a69/content

Tayel, D. I., Farrag, N. K., & Aborhyem, S. M. (2025). Dietary intake and risk assessment of nitrosamine in processed meat products among medical staff during their night shift. Scientific Reports, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-84059-y

Zambrano Roger. (2021). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA "SUSTITUCIÓN DEL NITRITO DE SODIO POR EXTRACTO DE ESPINACA (SPINACIA OLERACEA) Y SU INFLUENCIA EN LA.

Zhang, Y., Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z., & Liu, D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. Current Research in Food Science, 6. https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2023.100470