Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Medicina Veterinaria
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria

Uso de radiación gamma para la eliminación de *Salmonella Typhimurium* en carne de cuy (*Cavia porcellus*): Cinética de inactivación y efecto sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne

TESIS

Para optar el Título Profesional de Médico Veterinario

AUTOR

Pedro Joaquin GILES CUYA

ASESOR

Dr. Juan Raúl LUCAS LÓPEZ

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Giles P. Uso de radiación gamma para la eliminación de *Salmonella Typhimurium* en carne de cuy (*Cavia porcellus*): Cinética de inactivación y efecto sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria; 2026.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
PEDRO JOAQUÍN GILES CUYA	Pedro Joaquin Giles Cuya
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41542593
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-5045-3274
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Dr. Juan Raúl Lucas López
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	42249664
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4231-9506
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. César Aquiles Lázaro De La Torre
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40628304
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mg. Siever Miguel Morales Cauti
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10685645
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. José Manuel Angulo Tisoc
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44081403

Datos de investigación	
Línea de investigación	B.4.3.2. INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL
Grupo de investigación	Salud pública y salud ambiental
Agencia de financiamiento	SUBVENCIÓN ECONÓMICA DEL PROGRAMA DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON FINANCIAMIENTO PARA GRUPOS DE INVESTIGACIÓN (PCONFIGI 2024), PROYECTO A24081051 (RR 004305-R-24): "RADIACIÓN GAMMA PARA CONSEGUIR EL OBJETIVO DE SEGURIDAD ALIMENTARIA (FSO) RESPECTO A *Salmonella* EN CARNE DE CUY: ELIMINACIÓN DE CEPAS RESISTENTES Y SUSCEPTIBLES A ANTIBIÓTICOS".
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Calle: Av. Circunvalación 2800 Latitud: -12.081254 Longitud: -76.987252
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024-2025
URL de disciplinas OCDE	Ciencia Veterinaria https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.00

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, Decana de América
Facultad de Medicina Veterinaria
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO

En el **Auditorio de Anatomía** de la Facultad de Medicina Veterinaria, el día **miércoles 18 de marzo de 2026**, a las **11:00 horas**, se constituyó el Jurado Examinador designado mediante **Resolución Directoral N° 000021-2026-EPMV-FMV/UNMSM** integrado por los siguientes docentes:

MV. Dr. César Aquiles Lázaro De La Torre	**Presidente del Jurado**
MV. Dr. Juan Raul Lucas López	**Asesor de la Tesis**
MV. Mg. Siever Miguel Morales Cauti	**Miembro del Jurado**
MVZ. Mg. José Manuel Angulo Tisoc	**Miembro del Jurado**

Luego de la instalación del Jurado, a cargo del presidente del Jurado y bajo la dirección del mismo, el Bachiller **PEDRO JOAQUIN GILES CUYA,** para optar el Título Profesional de Médico Veterinario, procedió a sustentar públicamente la Tesis:

"Uso de radiación gamma para la eliminación de *Salmonella Typhimurium* en carne de cuy (*Cavia porcellus*): Cinética de inactivación y efecto sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne"

Luego de absolver las preguntas del Jurado y del público asistente, el Jurado deliberó con la abstención reglamentaria del Asesor de la Tesis y acordó su **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD**, otorgándole la nota de **dieciocho (18).**

Habiéndose aprobado la sustentación pública de la Tesis, el presidente en representación del Jurado recomienda que la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria proponga la aprobación del **TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO** a la Facultad de Medicina Veterinaria y que ésta proponga al Rectorado el otorgamiento respectivo.

Siendo las **12:39 horas**, concluyó el acto académico de sustentación pública de Tesis en fe de lo cual suscriben la presente acta por cuadruplicado los integrantes del Jurado:

UNMSM
Firmado digitalmente por LAZARO DE LA TORRE Cesar Aquiles FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.04.2026 23:19:10 -05:00

César Aquiles Lázaro De La Torre; MV. Dr.
Profesor Asociado, Dedicación Exclusiva

Juan Raul Lucas López; MV. Dr.
Profesor Auxiliar, Tiempo Completo

UNMSM
Firmado digitalmente por MORALES CAUTI Siever Miguel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.04.2026 11:13:40 -05:00

Siever Miguel Morales Cauti; MV. Mg.
Profesor Asociado, Tiempo Completo

FIRMA DIGITAL
Firmado digitalmente por: ANGULO TISOC Jose Manuel FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10/04/2026 08:39:43-0500

José Manuel Angulo Tisoc; MVZ. Mg.
Profesor Auxiliar, Tiempo Completo

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, JUAN RAUL LUCAS LOPEZ en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° RD 0002-2025-EPMV-FMV/UNMSM de la tesis, cuyo título es USO DE RADIACIÓN GAMMA PARA LA ELIMINACIÓN DE *Salmonella Typhimurium* EN CARNE DE CUY (*Cavia porcellus*): CINÉTICA DE INACTIVACIÓN Y EFECTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE LA CARNE, presentado por el bachiller PEDRO JOAQUIN GILES CUYA para optar el título profesional de **Médico Veterinario,** CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 11 % de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional MÉDICO VETERINARIO.

Lima, 6 de mayo de 2026.



JUAN RAUL LUCAS LOPEZ
DNI: 42249664

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

A LA FAMILIA GILES CUYA
Y
A LA FAMILA GILES WATANABE

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, POR DARME LA VIDA Y BENDECIRME TODOS LOS DÍAS DE MI VIDA.

A MI MADRE, ALEJANDRA EUGENIA CUYA RAMOS, POR SU APOYO INCONDICIONAL Y POR GUIARME SIEMPRE POR EL CAMINO DEL BIEN Y DE LA BONDAD.

A MI PADRE, PEDRO WILLIAM GILES CHUMPITAZ, POR SU APOYO INCONDICIONAL Y POR GUIARME CON SU EJEMPLO DE PERSEVERANCIA.

A MI HERMANA BENI, POR TODO SU APOYO Y POR SEMBRAR EN MÍ EL VALOR DE LA DIGNIDAD Y EL ORGULLO.

A MI HERMANA ISABEL POR TODO SU APOYO Y POR INCULCAR EN MÍ EL ESPIRITU DE LUCHA.

A MI FUTURA ESPOSA LINA VERÓNICA Y A MI HIJO JOAQUÍN ELEAZAR POR SER FUENTE DE INSPIRACIÓN PARA LOGRAR MIS OBJETIVOS.

A MI TÍO Y MAESTRO DOMINGO GUZMAN CHUMPITAZ RAMOS POR HABER AYUDADO A FORMAR MI PERSONALIDAD E INCULCARME EL VALOR DEL TRABAJO.

A TODOS MIS PROFESORES DE LA F.M.V. – U.N.M.S.M., POR CONTRIBUIR EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL.

AL DR. JUAN RAÚL LUCAS LÓPEZ, POR SU AMISTAD Y POR HACER POSIBLE EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO.

A LA DRA. ROSA AMELIA PERALES CAMACHO POR SU PACIENCIA Y POR SUS ENSEÑANZAS.

AL DR. SIEVER MIGUEL MORALES CAUTI, POR SU INVALUABLE APOYO Y ASESORÍA ESPECIALIZADA EN EL LABORATORIO DE BACTERIOLOGÍA.

AL MV. SEBASTIÁN DÁVALOS, POR SU CONTRIBUCIÓN DESINTERESADA, RESPONSABLE Y DECISIVA EN EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DE LABORATORIO.

A LA DRA. NATHALY ENCISO BENAVIDES, UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL SUR, POR SU VALIOSA COLABORACIÓN EN EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS FISICOQUÍMICAS REALIZADAS EN LA CARNE DE CUY.

A LA LIC. LIZ VILLANUEVA, SENASA, POR SU ASESORÍA TÉCNICA DURANTE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL MARCO DEL SERVICIO DE IRRADIACIÓN A TERCEROS.

A LOS INTEGRANTES DEL PANEL SENSORIAL, POR SU PARTICIPACIÓN DESINTERESADA Y EL ALTO GRADO DE RIGOR Y COMPROMISO DEMOSTRADO DURANTE EL PROCESO DE CONFORMACIÓN, ENTRENAMIENTO Y EJECUCIÓN DE LOS ANÁLISIS SENSORIALES.

.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, QUE MEDIANTE LA SUBVENCIÓN ECONÓMICA DEL PROGRAMA DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON FINANCIAMIENTO PARA GRUPOS DE INVESTIGACIÓN (PCONFIGI 2024), A TRAVÉS DEL PROYECTO A24081051: “RADIACIÓN GAMMA PARA CONSEGUIR EL OBJETIVO DE SEGURIDAD ALIMENTARIA (FSO) RESPECTO A Salmonella EN CARNE DE CUY: ELIMINACIÓN DE CEPAS RESISTENTES Y SUSCEPTIBLES A ANTIBIÓTICOS” (RR 004305-R-24), HIZO POSIBLE LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS

ÍNDICE

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
ÍNDICE v
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
LISTA DE CUADROS ix
LISTA DE FIGURAS x
I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. 3
2.1. Irradiación de alimentos 3
2.1.1. Antecedentes históricos de la irradiación de alimentos 3
2.1.2. Bases de la radiación ionizante 4
2.1.3. Definición y fuentes de irradiación 5
2.1.4. Objetivos y ventajas de la irradiación de alimentos 6
2.1.5. Efectos de la irradiación sobre los microorganismos 7
2.1.6. Efectos de la radiación ionizante sobre la carne y otros alimentos 8
2.1.7. Normativa de los alimentos irradiados 10
2.2. Salmonella 15
2.2.1. Antecedentes históricos 15
2.2.2. Taxonomía 16
2.2.3. Biología celular 17
2.2.4. Hábitat 18
2.2.5. Resistencia a condiciones adversas 20
2.2.6. Patogénesis 21
2.2.7. Epidemiología 22
2.3. El cuy como alimento 23
2.3.1. Antecedentes históricos 23
2.3.2. Crianza de cuyes en el Perú 24
2.3.3. Salmonelosis en explotaciones de cuyes 25
2.3.4. La carne de cuy en el Perú 26
2.3.5. Desafíos en la producción y exportación de la carne de cuy 27
III. MATERIALES Y MÉTODOS 30

3.1. Diseño experimental 30
3.2. Reactivación de las cepas y preparación del inóculo 30
3.3. Contaminación e irradiación de la carne de cuy 31
3.4. Recuentos de *Salmonella* spp. supervivientes 32
3.5. Estudio de la cinética de inactivación de las cepas de *Salmonella* spp. 32
3.6. Mapeo de dosis de la carcasa de cuy 32
3.7. Análisis sensorial de la carne irradiada 34
3.8. Evaluación del pH, humedad y pérdidas por cocción 35
3.9. Análisis de la información 36
IV. RESULTADOS 38
4.1.- Evaluación del riesgo microbiológico, estudio de la cinética de destrucción de *Salmonella* y mapeo de dosis en la carne de cuy 38
4.2.- Análisis sensorial y fisicoquímico de la carne de cuy irradiada 41
V. DISCUSIÓN 42
VI. CONCLUSIONES 51
VII. RECOMENDACIONES 52
VIII. LITERATURA CITADA 53
IX. ANEXOS 68
A.1. Resultados de la caracterización y secuenciamiento de los aislados de *Salmonella* spp. usadas en este estudio 68
A.2. Programa de formación, estandarización y validación del desempeño del panel sensorial 70

RESUMEN

El cuy (*Cavia porcellus*), roedor andino importante en la gastronomía tradicional, destaca por su corto ciclo productivo, la baja inversión que requiere implementar su explotación y carne magra de alta calidad. Perú, líder mundial en su producción, enfrenta el desafío de la *Salmonella*, que amenaza tanto la sanidad animal como la inocuidad alimentaria. El objetivo del presente estudio fue determinar la dosis higienizante de radiación gamma aplicable a la carcasa de cuy (*Cavia porcellus*) que permita eliminar *Salmonella* preservando las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne. Para ello, se evaluó la cinética de inactivación inducida por la irradiación gamma en carne de cuy, empleando dos aislados de *Salmonella* Typhimurium. Asimismo, se realizó un estudio de mapeo de dosis en la carcasa de cuy irradiada, para determinar la dosis absorbida en diferentes puntos de la misma. Además, se midió el pH, la humedad de la carne, la perdida de agua por cocción, y se realizaron dos pruebas sensoriales, una discriminatoria de ordenación y una prueba hedónica usando una escala no estructurada de 10 cm. El valor de reducción decimal fue similar (0.33-0.32) en ambos aislados, independientemente de su resistencia antimicrobiana. La dosis de 1 kGy fue suficiente para alcanzar el objetivo de seguridad alimentaria universal respecto a *Salmonella* (ausencia en 25 g). Esta dosis penetra de forma homogénea toda la carcasa, mostrando un índice de uniformidad de 1.18. El tratamiento con 1 kGy no ocasionó cambios significativos en el pH ni en la humedad de la carne. Se observó una mayor pérdida de agua a la cocción en las muestras irradiadas pero que no tuvo repercusiones a nivel sensorial. A la prueba hedónica, la irradiación de la carne de cuy a dosis de hasta 2 kGy no afecto significativamente el nivel de agrado de los panelistas.

Palabras clave: radiación gamma, objetivo de seguridad alimentaria, dosímetros, D_{max}/D_{min}

ABSTRACT

The guinea pig (*Cavia porcellus*), an Andean rodent significant in traditional cuisine, is notable for its short production cycle, the low investment required to raise it, and its high-quality lean meat. Peru, the world leader in guinea pig production, faces the challenge of *Salmonella*, which threatens both animal health and food safety. This study aimed to establish a gamma irradiation dose for guinea pig carcasses that ensures *Salmonella* elimination while maintaining meat quality. To this end, the inactivation kinetics induced by gamma irradiation in guinea pig meat were evaluated using two *Salmonella* Typhimurium isolates. Additionally, a dose-mapping study was conducted on irradiated guinea pig carcasses to determine the absorbed dose at different locations. In addition, pH, moisture content, and cooking losses were measured, and two sensory evaluations were conducted, a discriminatory ranking test and a hedonic test using an unstructured 10-cm scale. The decimal reduction value was similar for both isolates (0.32–0.33), regardless of their antimicrobial resistance. A dose of 1 kGy was sufficient to achieve the universal food safety objective for *Salmonella* (absence in 25 g). This dose penetrated the entire carcass homogeneously, with a uniformity index of 1.18. Treatment at 1 kGy did not cause significant changes in meat pH or moisture content. Although greater cooking losses were observed in irradiated samples, no sensory impact was detected. In the hedonic test, irradiation of guinea pig meat at doses up to 2 kGy did not significantly affect overall acceptability.

Keywords: gamma radiation, food safety objective, dosimeters, D_{max}/D_{min}

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. EFECTOS Y APLICACIONES DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS A DIFERENTES RANGOS DE DOSIS (KGY). 7
CUADRO 2. RECUENTOS (LOG UFC/G) DE SALMONELLA TYPHIMURIUM SUSCEPTIBLE (SA) Y RESISTENTE (RA) A ANTIBIÓTICOS, EN CARNE DE CUY CONTAMINADA EXPERIMENTALMENTE Y TRATADA MEDIANTE IRRADIACIÓN GAMMA A DOSIS DE 1 Y 2 KGY. 38
CUADRO 3. ECUACIONES DE SUPERVIVENCIA Y RADIORESISTENCIA (VALOR D) PARA DOS AISLADOS DE SALMONELLA TYPHIMURIUM, SUSCEPTIBLE (SA) Y RESISTENTE (RA) A ANTIBIÓTICOS, EN CARNE DE CUY CONTAMINADA EXPERIMENTALMENTE CON UNA CARGA ELEVADA (>6 LOG UFC/G). 38
CUADRO 4. INTERPRETACIÓN PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA IRRADIACIÓN GAMMA DE SALMONELLA TYPHIMURIUM SUSCEPTIBLE (SA) Y RESISTENTE (RA) A ANTIBIÓTICOS EN CARNE DE CUY CONTAMINADA EXPERIMENTALMENTE. 39
CUADRO 5. DOSIS ABSORBIDA (MEDIA Y PORCENTAJE), DOSIS MÍNIMA Y MÁXIMA ABSORBIDA E ÍNDICE DE UNIFORMIDAD DE DOSIS (D_{MAX}/D_{MIN}), EN DIFERENTES LOCALIZACIONES ANATÓMICAS DE CARCASAS DE CUY DESPUÉS DE SU IRRADIACIÓN A 1 Y 2 KGY. 40
CUADRO 6. HUMEDAD, PH Y PÉRDIDA POR COCCIÓN (%) DE MUESTRAS DE CARNE DE CUY ENVASADAS AL VACÍO NO IRRADIADAS E IRRADIADAS CON 1 Y 2 KGY DE RADIACIÓN GAMMA..... 41

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOGO RADURA O SÍMBOLO INTERNACIONAL PARA INDICAR QUE UN ALIMENTO HA SIDO IRRADIADO. 12
FIGURA 2. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA CELULAR DE SALMONELLA (TEKLEMARIAM ET AL., 2023). 18
FIGURA 3. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA Y MECANISMOS DE RESISTENCIA DE UN BIOFILM DE SALMONELLA (MODIFICADA DE ALEKSANDROWICZ ET AL., 2023). 21
FIGURA 4. EXPRESIONES ARTÍSTICAS RELACIONADAS AL CUY. IZQUIERDA: HUACO PREHISPÁNICO CON FORMA DE CUY (MARROQUÍN, 2015). DERECHA: PINTURA DEL SIGLO XVII DEL ARTISTA POLACO TEODOR LUBIENIECKI EXHIBIDA EN EL MUSEO NACIONAL DE CRACOVIA (DEFRANCE, 2019). 24
FIGURA 5. ALGUNAS PREPARACIONES TRADICIONALES (ARRIBA) Y DE COCINA DE ALTA GAMA (ABAJO) REALIZADAS CON EL CUY. A. CUY GUISADO; B. CUY FRITO; C. CUY CROCANTE CON TAMALES DE GARBANZO; D. CUY PEKÍN; (MATA, 2013; MARROQUÍN, 2015; RODRÍGUEZ, 2025). 27
FIGURA 6. ESQUEMA DE LOS EXPERIMENTOS QUE ENGLOBARON EL ESTUDIO. 30
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE LOS DOSÍMETROS EN LA CARA INTERNA Y EXTERNA DE UNA CANAL DE CUY PARA EL MAPEO DE DOSIS. 33
FIGURA 8. DIAGRAMA EN FORMA DE TELARAÑA DE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES (COLOR, OLOR, SABOR, TEXTURA Y ACEPTABILIDAD GENERAL) DE LA CARNE DE CUY NO TRATADA Y TRATADA CON DIFERENTES DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA (1 Y 2 KGY). 41

I. INTRODUCCIÓN

Desde épocas preincas hasta hoy, la crianza de cuyes es una práctica económica y cultural clave en las poblaciones andinas peruanas. El cuy ofrece ventajas biológicas, ecológicas y económicas destacadas como el requerimiento de poco espacio, ciclo corto, alimentación con pastos y subproductos, independencia de insumos importados, baja inversión para iniciar su explotación y retornos rápidos, ideal para reducir pobreza e inseguridad alimentaria en economías circulares (Lammers *et al*., 2009).

Perú lidera la exportación mundial de carne de cuy con un 78% de participación en el mercado internacional, siendo Estados Unidos su mercado principal (MIDAGRI, 2020, 2023). Sin embargo, el crecimiento de esta industria se ve limitado por la salmonelosis, una patología que causa graves pérdidas económicas y de producción debido a su rápida diseminación. El control de este patógeno es complejo, ya que puede estar presente en animales clínicamente sanos (Carhuaricra *et al.,* 2022; Duran, 2023), además de enfermos, con prevalencias de hasta el 62%, siendo *Salmonella* Typhimurium el serotipo más prevalente reportado en la especie (Matsuura *et al.,* 2010; Marcelo, 2015; Ortega *et al.,* 2015; Chero *et al*., 2017; Angulo-Tisoc *et al*., 2021).

Salmonella representa una amenaza crítica para la salud pública global, siendo los alimentos de origen animal el principal vehículo de transmisión zoonótica hacia el hombre. Aunque suele causar gastroenteritis autolimitada, la infección puede ser grave en poblaciones vulnerables (niños, ancianos e inmunosuprimidos) (WHO, 2018). Desde una perspectiva comercial, su presencia en la carne de cuy no solo implica riesgos sanitarios, sino que faculta a las autoridades para el retiro del producto, generando barreras comerciales y el posible cierre de mercados internacionales estratégicos. Por ello, las autoridades sanitarias globales han establecido como objetivo de seguridad alimentaria (FSO) la ausencia de *Salmonella* en 25 g de carne. *Salmonella* en carne de cuy ha sido reportada en prevalencias de hasta 34% (Cayro, 2013; Soriano, 2020; Mansilla *et al.*, 2023).

Por tanto, se requiere de tratamientos que permitan garantizar la inocuidad de la carne de cuy y con el mismo no pierda su categoría de carne cruda. En este panorama, la irradiación de alimentos se abre como una posibilidad vigente y asequible. Este tratamiento es

altamente efectivo para eliminar patógenos y es actualmente una de las tecnologías de alimentos más investigadas en sus efectos nutricionales, toxicológicos, mutagénicos y microbiológicos, considerándose seguro incluso a dosis de esterilización de alimentos, como los tratamientos a 44 kGy que se aplica a la comida de los astronautas de programas espaciales de la NASA (Pillai y Shayanfar, 2017; USDA-FDA, 2018).

El 2025 se cumplieron 120 años desde que se registró el primer tratamiento de irradiación de alimentos, un proceso aceptado y recomendado por organismos internacionales como la FAO, OMS, OIEA, FDA, USDA, EFSA y el Codex Alimentarius (Ravindran y Jaiswal, 2019; Castell-Pérez y Moreira, 2020; Nishihira, 2020). Actualmente, más de 60 países permiten la irradiación de una variedad de alimentos y particularmente la irradiación de carne fresca se aplica frecuentemente en países como China y Estados Unidos (Breidbach y Ulberth, 2016; Roberts, 2016; Carreño, 2018; Premi y Khan, 2018). En el Perú, la normativa NTP 209.500 regula este proceso, estableciendo que la dosis media acumulada no debe superar los 10 kGy y debe ajustarse a objetivos tecnológicos específicos.

La irradiación de alimentos inhibe el desarrollo microbiano mediante daño directo al ADN y daño indirecto por la formación de radicales libres derivados de la radiólisis del agua (Tahergorabi *et al*., 2014; Pillai y Shayanfar, 2017). Estos mismos efectos tienen lugar en las matrices cárnicas, en especial a altas dosis las que pueden inducir la oxidación de lípidos y la degradación de aminoácidos azufrados, alterando las propiedades sensoriales (rancidez y aromas atípicos) (Fan, 2013; Prakash, 2020; Kim *et al*., 2024). Por ello, la estandarización del tratamiento en nuevas matrices como la carne de cuy exige un equilibrio entre la dosis mínima higienizante y la dosis máxima que preserve sus características fisicoquímicas y sensoriales.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Irradiación de alimentos

2.1.1. Antecedentes históricos de la irradiación de alimentos

En 1905, Appleby y Banks fueron los primeros en emplear isótopos radiactivos para el tratamiento de alimentos, logrando así una patente británica para su método (Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011; Ehlermann, 2016). En 1918, Gillett recibió una patente en Estados Unidos por el uso de rayos X en la conservación alimentaria, en 1921 Schwartz aplicaba esta misma tecnología a la carne de porcino para destruir la triquina, y en 1930, el alemán Wüst conseguía una patente francesa por eliminar bacterias de alimentos envasados mediante rayos X (Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011; Ehlermann, 2016). En 1958, tras casi transcurrida una década de fomentar el uso pacífico de la tecnología atómica a nivel mundial, se llevó a cabo la primera irradiación comercial de especias utilizando electrones acelerados en Alemania (Zachmann, 2011; Ehlermann, 2016; Premi y Khan, 2018; Ravindran y Jaiswal, 2019).

Entre 1970 y 1982, se llevaron a cabo varios programas de investigación internacionales, apoyados por la FAO, el OIEA y la OMS, que evaluaban la seguridad de la aplicación de esta tecnología en alimentos. El proyecto más destacado fue el "proyecto Karlsruhe", que involucró a 24 países y evaluó los potenciales efectos negativos del consumo de alimentos irradiados hasta con 10 kGy. Sus resultados fueron revisados periódicamente por el Comité Mixto de Expertos de la FAO/OIEA/OMS, y permitieron concluir que la irradiación de alimentos a dosis de hasta 10 kGy no representa riesgos toxicológicos, nutricionales ni microbiológicos (Diehl, 2002; Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011; Ravindran y Jaiswal, 2019).

En 1997, fue revisada la seguridad de alimentos irradiados con dosis altas de hasta 70 kGy por un grupo de estudio de FAO/OIEA/OMS, demostrando que este tratamiento no causaba efectos adversos para la salud, concluyendo que los alimentos irradiados, incluso a altas dosis, son seguros y nutricionalmente adecuados (Diehl, 2002; Premi y Khan, 2018; Huang *et al*., 2019; Nishihira, 2020). En 2003, el Codex Alimentarius (CAC, 2003),

adoptando este criterio, recomienda aplicar dosis superiores a 10 kGy en alimentos siempre que sea necesario para cumplir con un objetivo tecnológico válido.

Han pasado 120 años desde que se registró por primera vez la irradiación de alimentos, un proceso ampliamente investigado y que hoy es considerado seguro y efectivo para la conservación de alimentos por organismos como la FAO, OMS, OIEA, FDA, USDA, EFSA y el Codex Alimentarius (Ravindran y Jaiswal, 2019; Castell-Pérez y Moreira, 2020; Nishihira, 2020). Actualmente, más de 60 países permiten la irradiación de una variedad de alimentos, con aproximadamente 500 mil toneladas tratadas anualmente, siendo la descontaminación de especias, hierbas y condimentos una de sus principales aplicaciones en todo el mundo, aunque en los últimos años la irradiación de carne fresca ha ganado terreno, especialmente en países como China y Estados Unidos (Breidbach y Ulberth, 2016; Roberts, 2016; Carreño, 2018; Premi y Khan, 2018).

2.1.2. Bases de la radiación ionizante

La radiación es una forma de energía que se origina a partir de átomos inestables provenientes de la descomposición radiactiva o que también puede generarse con electricidad, que en ambos casos se emite como ondas (IAEA, 2002; EPA, 2024). Su intensidad se mide en electronvoltios (eV) (1 MeV = 10^6 eV) (IAEA, 2002; INACAL, 2015). Sus características están determinadas por la "longitud de onda", que es la distancia a la que se repite la onda, y que está inversamente relacionada con la "frecuencia de onda", que es el número de ciclos que la onda completa por segundo, expresado en Hz; A mayor frecuencia, mayor es su energía y menor su longitud de onda (IAEA, 2002, 2015).

La radiación no ionizante posee una energía inferior a 10 eV, que se corresponde con frecuencias inferiores a 3×10^{15} Hz y longitudes de onda superiores a 100 nm ($> 10^{-7}$ m) (Tahergorabi *et al*., 2014; ICNIRP, 2020). La radiación no ionizante tiene la energía necesaria para mover los átomos de una molécula o inducir su vibración, aunque no alcanza para desprender los electrones de los átomos; ejemplos de radiación no ionizante son las ondas de radio, microondas, etc. (EPA, 2024).

En cambio, las radiaciones ionizantes son ondas de muy alta frecuencia (10^{15}-10^{20} Hz); se producen en el extremo de onda corta del espectro (10^{-8}-10^{-12} m) y presentan una

energía de entre 10^1-10^6 eV (Tahergorabi *et al*., 2014). Este nivel de energía es suficiente como para arrancar electrones de los átomos y convertirlos en iones (Morales-Aramburo y Puerta, 2020). La radiación de alimentos o irradiación consiste en aplicar radiación ionizante gamma, rayos X o electrones acelerados a los alimentos en su envase final.

La cantidad de energía de radiación ionizante que se deposita por unidad de masa del alimento irradiado se denomina dosis absorbida y su unidad de medida es el gray (Gy) que es igual a J/kg o 100 rads (1 kGy = 10^3 Gy = 1000 J/kg = 0.1 Mrad) (Rossi *et al*., 2009; IAEA, 2015). Para medir la dosis absorbida por los alimentos (dosimetría), se usan los denominados "dosímetros", material pequeño y delgado sensible a la radiación, y un espectrofotómetro, que de forma precisa cuantifica el cambio en las propiedades ópticas del dosímetro que estuvo expuesto a la radiación (Mehta y O'Hara, 2006; IAEA, 2015; INACAL, 2015).

2.1.3. Definición y fuentes de irradiación

Según INACAL (2015a) la irradiación de alimentos se define como el tratamiento con radiación ionizante de cualquier alimento. Existen tres fuentes permitidas para el tratamiento de irradiación en alimentos: radiación gamma, rayos X (a un nivel de energía máximo de 5 MeV) y electrones acelerados (a un nivel de energía máximo de 10 MeV) (CAC, 2003; INACAL, 2015). Los electrones acelerados y los rayos X se generan mediante un equipo eléctrico, por ello no generan residuos radiactivos y se pueden apagar cuando no se están usando (Tahergorabi *et al*., 2014). Sin embargo, los electrones acelerados tienen una escasa penetración, de hasta 5 cm, lo que dificulta la irradiación de grandes volúmenes de producto (Pillai y Shayanfar, 2017; Lucas *et al*., 2020). Por otro lado, el tratamiento con rayos X es energéticamente deficiente, y por ello más costoso, ya que para generarse el haz de electrones debe impactar una placa metálica de wolframio, oro o tungsteno y en este paso se pierde el 90% de la potencia el haz de electrones (Tahergorabi *et al*., 2014).

La radiación gamma es emitida por radioisótopos ^{60}Co y ^{137}Cs, a niveles de energía inocuos de máximo de 1.33 y 0.66 MeV, respectivamente. Este tratamiento además de ser seguro tiene un funcionamiento ininterrumpido y una excelente penetración en los productos, por lo que se puede irradiar en grandes volúmenes (Farkas, 2006; Tahergorabi *et al*., 2014). La principal desventaja del tratamiento con rayos gamma es su durabilidad

limitada (10-30 años) y el manejo de los desechos radiactivos una vez finaliza su vida útil (Pillai y Shayanfar, 2017).

2.1.4. Objetivos y ventajas de la irradiación de alimentos

La irradiación de alimentos tiene diferentes objetivos dependiendo de la dosis usada. Según EFSA (2011), se denomina baja dosis de irradiación a la dosis de hasta 1 kGy, mientras que la dosis media y la alta dosis van entre 1-10 kGy y >10 kGy, respectivamente. Según INACAL (2015), los diferentes tratamientos podrían clasificarse como *radapertización* (reducción del número de microorganismos viables al punto que no puedan ser detectados sin importar las condiciones o periodos del almacenamiento después del tratamiento, siempre que no haya recontaminación), *radicidación* (reducción del número de bacterias patógenas específicas viables que no forman esporas hasta el punto que no sea detectado por cualquier método) y *radurización* (reduce considerablemente el número de microorganismos viables causantes de descomposición). En el cuadro 1 se muestran algunas dosis aplicadas a alimentos específicos y su efecto (Rossi *et al*., 2009; Roberts, 2014; IAEA, 2015).

La irradiación implica varias ventajas para la industria de alimentos. Rossi *et al*. (2009) y Roberts (2014) señalan como los más importantes a su eficiencia para eliminar microorganismos y parásitos, que es seguro para el consumidor, no produce elementos tóxicos ni desmedra la calidad nutricional del producto, que es un tratamiento frío, penetrante, que se realiza en el envase final del alimento, pudiendo aplicarse a alimentos frescos o crudos, que reemplaza el uso de conservantes industriales, puede reducir algunos compuestos tóxicos como micotoxinas, acrilamidas, compuestos antinutricionales, entre otros, y es amigable con el planeta.

La radicidación se ha aplicado a casi todas las matrices cárnicas con el fin de controlar diferentes microorganismos patógenos de interés, como por ejemplo *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytognes* o *Salmonella* (Indiarto *et al*., 2023). Sobre *Salmonella*, las dosis óptimas de irradiación gamma para eliminar este patógeno en carne fresca varían por especie y matriz, apuntando a reducciones de 5-6 log con mínimos impactos sensoriales a <3 kGy (Hashim *et al*., 2024). En carne de bisonte, caimán, avestruz y cocodrilo una dosis de máximo 2 kGy reduce entre 2.8-4 log de *Salmonella* (Thayer *et al*., 1997): En carne fresca de pollo, se eliminó *Salmonella* con dosis de 1-3 kGy (Hashim *et al*., 2024).

Asimismo, Mrityunjoy *et al*. (2019) concluyeron que la irradiación gamma inhibía eficazmente diversos patógenos, incluido *Salmonella* spp., con reducciones de 4 log y 6 log a dosis de radiación de 6 kGy y 8 kGy, respectivamente, en palomas, patos, codornices, pollos domésticos y pollos de engorde. En carne fresca de res, se redujo aproximadamente 3-6 log de *Salmonella* Typhimurium aplicando 1.5-3 kGy de radiación gamma (Chung *et al*., 2000). En carne fresca de cerdo se ha reportado dosis de entre 4.7-2.5 kGy como higienizantes de *Salmonella* Enteritidis, sin afectar sus características sensoriales ni afectar su perfil de ácidos grasos (Sinanoglou *et al*., 2009).

Cuadro 1. Efectos y aplicaciones de la irradiación de alimentos a diferentes rangos de dosis (kGy).

Dosis	Efecto	Ejemplos de aplicación
0,1-1 kGy	Inhibe la germinación y retrasa la maduración. Desinfestación de plagas. Inactivación de parásitos.	Patatas, ajos, cebolla, bananas, papaya Alimentos frescos y deshidratados Vegetales (protozoos), Cerdo (Trichinella)
1-10 kGy	Eliminación de patógenos no esporulados (radicidación). Prolongación de la vida útil mediante destrucción de microorganismos alterantes (radurización).	Mariscos, carnes frescas, ancas de rana, patas de pollo, sangre y especias Fresas, champiñones, pescado deshidratado
>10 kGy	Reduce los patógenos al punto de esterilidad (radapertización)	Especias, dietas de hospital y alimento para astronautas

2.1.5. Efectos de la irradiación sobre los microorganismos

La irradiación de alimentos detiene el desarrollo de microorganismos al provocar daño directo o indirecto en sus estructuras, como la alteración de la membrana, daño al ADN, proteínas, enzimas, entre otros, resultando en un efecto negativo irreversible sobre sus procesos fisiológicos (Pillai y Shayanfar, 2015, 2017). El daño directo ocurre cuando los fotones de alta energía impactan directamente sobre las moléculas de ADN, generando iones cargados o radicales libres dentro de estas moléculas, rompiendo o modificando su

estructura, haciendo imposible que el microorganismo se replique o funcione correctamente (Tahergorabi *et al*., 2014; Pillai y Shayanfar, 2017). El daño indirecto ocurre cuando la radiación ioniza moléculas de agua u otros compuestos en el interior de la célula, creando radicales libres y iones reactivados que luego interactúan con el ADN y otras estructuras celulares como proteínas, enzimas, lípidos de membrana, etc. (EFSA, 2011; Tahergorabi *et al*., 2014).

En irradiación de alimentos existe una dosis máxima (nivel por el cual encima no debe tratarse un alimento, para no producir, por ejemplo, cambios sensoriales) y una dosis mínima (Nivel por debajo del que un alimento no debe ser tratado para conseguir un efecto deseado) (INACAL, 2015). La radioresistencia de los microorganismos se expresa a través del denominado "*valor D*" o dosis de irradiación que se requiere para eliminar el 90% de la población bacteriana (reducción de 1 log) (Lucas *et al*., 2020). Los microorganismos más complejos presentan un *valor D* menor, por lo que se afectan más con este tratamiento; los hongos son más susceptibles que las bacterias y estas a su vez más susceptibles que los virus (EFSA, 2011; Ahn *et al*., 2018). Diversos otros factores influyen en la radioresistencia de los microorganismos, como la cantidad de microorganismos presentes en el alimento, la cantidad de agua de los alimentos, la cantidad de antioxidantes presentes en el alimento; mayor presencia de estos factores mayor *valor D* (EFSA, 2011; Tahergorabi *et al*., 2014; Clemmons *et al*., 2015; Ahn *et al*., 2018). La matriz donde se evalúa la resistencia tiene un efecto directo sobre el valor *D*; hace aproximadamente 35 años que se reportó que la resistencia a la radiación de la *Salmonella* aumentó aproximadamente al doble cuando se analizó en una matriz cárnica en lugar de en un medio microbiológico (Thayer *et al*., 1990)

2.1.6. Efectos de la radiación ionizante sobre la carne y otros alimentos

El impacto de la irradiación en la matriz alimentaria guarda similitud con sus efectos en los microorganismos. En ambos casos, la degradación de los componentes depende de la dosis aplicada y de la humedad del producto. El proceso ocurre mediante dos mecanismos: la ruptura directa de enlaces químicos por ionización primaria y la acción indirecta de radicales libres derivados de la radiólisis del agua (Fan, 2013; Baccaro *et al*., 2018). En consecuencia, el contenido hídrico del alimento actúa como un modulador de las reacciones bioquímicas inducidas.

Dentro de la matriz alimentaria, los lípidos destacan como las moléculas de mayor susceptibilidad ante las radiaciones ionizantes. La naturaleza de su degradación depende del entorno gaseoso, pues en condiciones anaeróbicas, los ácidos grasos se descomponen en compuestos como hidrocarburos, aldehídos y diversos gases (CO_2, H, CO) (Fan, 2013). La irradiación en condiciones de oxígeno, especialmente a altas dosis de 10 kGy, acelera la formación de hidroperóxidos mediante procesos oxidativos y aunque estos subproductos no representan un riesgo sanitario, la aparición de olores y sabores asociados a la rancidez deteriora significativamente la aceptabilidad sensorial del producto (Fan, 2013).

Asimismo, la oxidación de ácidos grasos polinsaturados puede generar diversos compuestos volátiles que causan malos olores cuando se usan dosis > 3 kGy, pero que se puede prevenir si los productos se irradian envasados al vacío (Kim *et al*., 2024). Además, la irradiación puede reducir estos ácidos grasos beneficiosos para la salud; Según Arshad *et al*. (2020), la irradiación con 7 kGy de rayos gamma de la carne de pato disminuyó el contenido de ácidos grasos polinsaturados debido a los procesos oxidativos en los dobles enlaces iniciados por radicales altamente reactivos.

Nutricionalmente, las proteínas presentan una notable estabilidad frente a la irradiación, manteniendo casi intactas su digestibilidad y su perfil de aminoácidos, lo que convierte a los productos cárnicos en matrices ideales para este tratamiento (Fan, 2013). Aunque los aminoácidos libres son más susceptibles al daño por radicales libres, el uso de dosis bajas (< 10 kGy) solo genera cambios menores como la fragmentación limitada de la proteína en componentes de menor peso molecular, además de procesos de desaminación, descarboxilación o la ruptura de puentes disulfuro (Fan, 2013; Prakash, 2020). Sin embargo, dosis superiores pueden provocar la desnaturalización proteica y la degradación de moléculas azufradas (como la metionina, cisteína o el glutatión), derivando en la formación de compuestos volátiles de azufre, los cuales suelen ser responsables de aromas o sabores atípicos en el alimento (Miller, 2005; Fan, 2013; Prakash, 2020).

En el músculo esquelético, se ha descrito que la irradiación gamma a dosis de 7 kGy es capaz de modificar el colágeno tipo IV (Zhang *et al*., 2020). Asimismo, dosis de entre 9 y 10 kGy de radiación gamma incrementan significativamente la solubilidad del colágeno en diversas especies, incluyendo bovinos, porcinos, aves y búfalos (Kanatt *et al*., 2015;

Rodrigues *et al*., 2020). Este fenómeno de degradación proteica y fragmentación molecular reduce la dureza, pudiendo impactar principalmente en la textura, pero también en el color y la calidad sensorial del producto (Kim *et al*., 2024).

La acción de los radicales libres generados por la radiación gamma puede comprometer la estabilidad de ciertos micronutrientes, particularmente cuando se aplican dosis elevadas ya que las vitaminas de la carne se afectan mínimamente a dosis de 3-7 kGy, gracias al efecto protector de la matriz alimentaria que reduce daños en comparación con vitaminas aisladas (Park *et al*., 2012; Yun *et al*., 2012; Feliciano *et al*., 2014). Entre las vitaminas hidrosolubles, la B1 tiene una marcada sensibilidad al tratamiento, al igual que, el ácido ascórbico, que puede transformarse en ácido dehidroascórbico con actividad biológica como vitamina C, pero sin capacidad antioxidante (Kilcast, 1994; Woodside, 2015). En contraste, vitaminas como la K, D, riboflavina, niacina, piridoxina, ácido fólico y cobalamina muestran una mayor resistencia (Kilcast, 1994; Woodside, 2015). En el grupo de las liposolubles, solo las vitaminas A y E presentan una vulnerabilidad significativa (Kilcast, 1994; Woodside, 2015; Arshad *et al*., 2020). Asimismo, el proceso puede reducir los niveles de antioxidantes endógenos, tales como carotenoides y carnosina, debido al agotamiento provocado por el estrés oxidativo radioinducido (Galán *et al*., 2011; Woodside, 2015).

Respecto al efecto de la irradiación sobre los parámetros fisicoquímicos de los alimentos y en especial la carne, también depende de la dosis aplicada, considerándose a 3 kGy como el límite que por debajo del cual no se afectan significativamente las características de las matrices cárnicas (Hashim *et al*., 2024; kim *et al*., 2024). No obstante, siempre que se evalúa un tratamiento de irradiación en una nueva matriz cárnica, es esencial verificar que no se altere sus parámetros fisicoquímicos clave, como pH, humedad, y capacidad de retención de agua (Rima *et al*., 2019; Hashim *et al*., 2024; Salari y Khatami, 2025; Uazhanova *et al*., 2025).

2.1.7. Normativa de los alimentos irradiados

- **Nacional**

En el Perú existen diversas normas técnicas (NTP) sobre el uso de la irradiación en alimentos. La NTP 209.500 (INACAL, 2015a) presenta definiciones, los requisitos de las fuentes de radiación ionizantes, sobre el control del proceso, condiciones del tratamiento y rotulado de los productos irradiados. En esta norma describe que "la irradiación de alimentos se aplica cuando responde una necesidad tecnológica o cuando contribuye a alcanzar un objetivo de higiene alimentaria no debiendo utilizarse en sustitución de buenas prácticas". Asimismo, confirma que las dosis utilizadas en alimentos se deben ajustar a objetivos tecnológicos y de salud pública y a las buenas prácticas del proceso de irradiación. También señala que los materiales de envase y embalaje de alimentos deben impedir la reinfestación, contaminación y deterioro del producto irradiado durante su almacenamiento y transporte.

Sobre la repetición del tratamiento de irradiación en un producto indica que no se considera una buena práctica a excepción de cuando se trate de alimentos con bajo contenido de humedad con el fin de combatir la reinfestación de insectos, también cuando se irradian alimentos elaborados a partir de materias primas irradiadas previamente pero a bajas dosis de hasta 1 kGy, cuando se irradian alimentos que tengan menos del 5% de sus ingredientes ya irradiados o cuando se consigue la dosis y radiación total en más de una etapa (INACAL, 2015a).

Sobre la dosis de irradiación indica que la dosis absorbida media global acumulada (valor medio entre la dosis mínima y máxima absorbida por el producto) no debe ser superior a 10 kGy, excepto en alimentos que requieran una dosis superior y mediante norma específica (INACAL, 2015a).

Sobre el rotulado, la NTP 209.500 indica que "un alimento tratado con radiación ionizante incluirá junto a la denominación del alimento una indicación por escrito del tratamiento" y, opcionalmente, el símbolo internacional de radiación de alimentos en color verde (Figura 1).



Figura 1. Logo radura o símbolo internacional para indicar que un alimento ha sido irradiado.

Cuando la materia prima que se haya irradiado constituye un ingrediente principal de un producto se hará constar así en la lista de ingredientes. En el caso que la irradiación sea de alimentos a granel transportados en contenedores debe constar claramente en los documentos de transporte correspondientes (INACAL, 2015a).

La Norma Técnica Peruana NTP 209.502 (INACAL, 2015b) sobre el "Código de prácticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación" comprende los requisitos para el tratamiento por irradiación aplicado en las instalaciones, considerando también otros aspectos de proceso como la producción primaria y la recolección, el tratamiento posterior, la cosecha, el almacenamiento y el envío, envasado, la irradiación, el etiquetado, el almacenamiento y la manipulación después de la radiación y la capacitación. En esta norma indica que "la construcción y funcionamiento de los establecimientos de elaboración de alimentos se ajustan a los requisitos reglamentarios destinados a garantizar el consumo inocuo de los alimentos elaborados y la seguridad del trabajo del personal de planta, así como la protección del medio ambiente. Una instalación de irradiación de alimentos como cualquier otra planta elaboración de productos alimenticios también estará sujeta a tal reglamentación; su diseño, construcción y funcionamiento deberán estar conformes a los reglamentos pertinentes".

La Norma Técnica Peruana NTP 209.508 (INACAL, 2019a) sobre el "Código de buenas prácticas de irradiación para el control de patógenos y/o prolongar la vida útil de carnes de aves y carnes empacadas" está dirigida a brindar conceptos relacionados con las buenas prácticas del tratamiento con radiaciones ionizantes de las carnes rojas frescas o congeladas de bovinos (res y ternera), porcinos y especies ovinas, también a carnes de aves frescas o congeladas. Esta norma también se aplica a carnes crudas, tales como carne

picada o molida, carne mecánicamente deshuesada y carne de ave ya sea fresca o congelada. No comprende carnes procesadas o productos de aves de corral tales como embutidos, carnes curadas, secas y carnes de ave u otras carnes enlatadas.

La finalidad de la norma NTP 209.508 consiste en "eliminar o de lo contrario inactivar microorganismos patógenos presentes en carnes de aves u otras carnes frescas o congeladas y así, hacer que estos alimentos sean seguros para el consumo humano. Estos microorganismos patógenos pueden ser ciertas bacterias como *Salmonela* o *Campylobacter* o parásitos como *Trichinella spiralis*". También tiene como fin prolongar la vida comercial de las carnes frescas mediante la reducción de su población microbiana, principalmente formas vegetativas de bacterias que son la causa de descomposición del producto. También menciona que la irradiación sólo a través de su acción sobre el contenido microbiano puede mejorar la vida de comercialización de carne de aves y otros productos cárnicos, pero esta no reduce la actividad enzimática que es el principal factor limitante de la vida comercial pues que existen otros mecanismos diferentes a la acción bacteriana que causa la descomposición de la carne (INACAL, 2019a).

La NTP 209.508 señala que la dosis requerida para reducir las bacterias patógenas que pueden encontrarse en alimento depende de la radioresistencia de las bacterias presentes, recomendando que la dosis absorbida se determine por las condiciones que existen localmente, aunque las dosis que permiten prolongar la vida útil de la carne usualmente se encuentran en el rango de 1-2.5 kGy. Indica que "Por lo general debería emplearse la menor dosis absorbida considerada efectiva según las condiciones locales apropiadas, pues una dosis absorbida muy alta puede causar la aparición de un sabor desagradable en la carne; la sensibilidad a la aparición de este sabor varía de acuerdo a las especies de carne; sin embargo, también dependerá en gran medida de la temperatura, presencia de gases en el ambiente, entre otros factores. Además, altas dosis absorbidas pueden causar decoloración de algunas carnes; La dosis mínima absorbida debería ser suficiente para lograr el propósito tecnológico y la dosis máxima no debería exceder el límite de tolerancia del producto.". Por último, esta norma señala explícitamente que la etiqueta de estos productos irradiados debe mencionar la palabra "irradiado" o "tratado con radiación ionizante" (INACAL, 2019a).

Existe la NTP-ISO 14470:2017 (INACAL, 2022) que abarca “los requisitos mínimos necesarios para controlar el proceso de irradiación de alimentos, abordando sólo aquellos aspectos directamente relacionados con el proceso de irradiación que pueda afectar la seguridad o la calidad de los alimentos irradiados; es decir los requisitos para el desarrollo, validación y control de rutina de la radiación ionizante utilizada para el tratamiento de alimentos”.

Ejemplos de otras normas incluyen: La NTP 209.511:2009 (INACAL, 2019b) sobre el código de buenas prácticas de irradiación para el control de la microflora en pescado, ancas de rana y camarones; La NTP 209.509:2008 (INACAL, 2019c) que detalla el código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos en pescado seco y pescado seco salado; La NTP 209.505 (INACAL, 2015c) sobre el código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos de frutas frescas, dirigida al control de plagas de insectos en frutas frescas, para lo cual establecen dosis de entre 75-300 Gy, dependiendo del objetivo tecnológico”; La NTP 209.512:2010 (INACAL, 2015d) presenta el código de buenas prácticas de irradiación para el control de microorganismos patógenos en alimento de aves de corral; La NTP 209.503 2005 (INACAL, 2015e) describe el código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos de granos de cereales; La NTP 209.507:2007 (INACAL, 2015f) que indica el código de buenas prácticas de irradiación para prolongar la vida útil de plátanos, mangos y papayas; La NTP 209.506:2007 (INACAL, 2015g) que presenta el código de buenas prácticas de irradiación para la inhibición del brote de bulbos y tubérculos; La NTP 209.504:2006 (INACAL, 2015h) que detalla el código de buenas prácticas de irradiación para el control de patógenos y otra microflora en especias, hierbas y otros sazonadores vegetales.

- **Internacional**

La Norma General del Codex para la irradiación de alimentos (CAC, 2003) establece los tipos de radiación aprobados para este proceso (las tres fuentes antes mencionadas), junto con lineamientos sobre higiene, control y requisitos tecnológicos. Según esta norma, la dosis mínima de radiación debe ser suficiente para lograr el propósito previsto, mientras que la dosis máxima no debe comprometer la seguridad del consumidor ni del medio ambiente, ni deteriorar la calidad estructural o sensorial del producto. Asimismo, se

permite superar los 10 kGy en casos donde sea imprescindible para “alcanzar un objetivo tecnológico legítimo”.

En la Unión Europea (Unión Europea, 1999ab) la normativa vigente indica que “La irradiación de alimentos sólo podrá autorizarse si existe una necesidad tecnológica razonable, si no presenta ningún peligro para la salud y se lleva a cabo en las condiciones propuestas, si redunda en beneficio del consumidor y si no se utiliza como sustituto de las prácticas higiénicas y sanitarias o de las buenas prácticas de fabricación o agrícolas”. Además, existe una “lista comunitaria de alimentos que pueden ser tratados con radiaciones ionizantes” (EFSA, 2011). En la actualidad, la irradiación de alimentos en la Unión Europea se da en 24 instalaciones certificadas distribuidas en 14 países, siendo los productos que más frecuentemente reciben este tratamiento las ancas de rana principalmente, seguido de especias y condimentos.

En Estados Unidos, la irradiación de alimentos está permitida para diversos productos, con dosis que varían según el tipo. Frutas y verduras frescas, semillas, carnes (de vacuno, ovino, porcino, caprino y aves), huevos, mariscos y harina de trigo pueden recibir dosis inferiores a 10 kGy. En contraste, las hierbas y especias y vegetales deshidratados pueden tratarse con hasta 30 kGy, mientras que la carne destinada a los programas espaciales de la NASA puede alcanzar 44 kGy (Pillai y Shayanfar, 2017; USDA-FDA, 2018).

A nivel global, son pocos los países (países como Brasil y Singapur) que han autorizado la irradiación de alimentos sin restricciones adicionales, limitándose a acatar la normativa establecida por el Codex (Roberts, 2016). Los países asiáticos, Canadá, Australia, entre otros han adoptado este tratamiento como una alternativa aplicada principalmente a productos para exportar, siendo diferente el caso de China que es el líder mundial de la irradiación de alimentos, siendo las patas de pollo el producto más irradiado principalmente para consumo interno (Prakash, 2016; Pillai y Shayanfar, 2017; Ravindran y Jaiswal, 2019; Nishihira, 2020).

2.2. Salmonella

2.2.1. Antecedentes históricos

En 1880, el médico patólogo y bacteriólogo alemán Karl Joseph Eberth fue el primero en observar *Salmonella*, al demostrar la presencia de un bacilo sospechoso de ser la causa

de la fiebre tifoidea en pacientes que la padecían. En su homenaje, estos "bacilos de Eberth" fueron denominados *Eberthella typhosa* (Chatterjee *et al*., 2023).

En 1884, Georg Gaffky aisló con éxito *Salmonella* de pacientes con fiebre tifoidea, confirmando los hallazgos de Eberth (Ryan *et al*., 2017). En 1885, Daniel Elmer Salmon, un patólogo y bacteriólogo veterinario estadounidense, aisló "*Bacillus choleraesuis*" (actualmente, *Salmonella choleraesuis*) del intestino de cerdos (Ryan *et al*., 2017; Bhunia, 2018). Más tarde, Joseph Lignières, bacteriólogo francés, propuso el nombre de género *Salmonella* en reconocimiento a los esfuerzos de Salmon (Monte y Sellera, 2020).

A partir de 1930, la nomenclatura comenzó a centrarse más en los serotipos, que son las variantes de una especie bacteriana que se diferencian en sus antígenos de superficie. Los serotipos de *Salmonella* se agruparon de mediante el uso del sistema Kauffmann-White descrito en 1934, incluso se llegó a proponer en los 60s que cada serotipo de *Salmonella* se considera como una especie individual separada (Ryan *et al*., 2017). En las últimas décadas, con la introducción de técnicas genéticas avanzadas como la secuenciación del ADN, se ha logrado una clasificación más precisa y detallada de las cepas de *Salmonella*. Se reconoció que el sistema de serotipos no siempre reflejaba la verdadera relación filogenética entre las cepas, lo que llevó a una revisión de la nomenclatura y con ello a la clasificación actual (Tindall *et al*., 2005; Guibourdenche *et al*., 2010).

2.2.2. Taxonomía

Salmonella es un género de la familia *Enterobacteriaceae* cuya nomenclatura ha evolucionado a través del tiempo de la mano con los avances en la comprensión de su biología, genética y la necesidad de una clasificación más precisa de las distintas especies y serotipos. Desde su primer aislamiento, se han utilizado varios sistemas de nomenclatura que han dividido el género en varios subgéneros, especies, subespecies, grupos, subgrupos y serotipos diferentes (Tindall *et al*., 2005; Guibourdenche *et al*., 2010). Actualmente está vigente el concepto de subespecies y serotipos, que facilita una mejor comprensión de la diversidad de *Salmonella* (Ryan *et al*., 2017). Un ejemplo de nomenclatura completa sería el de *Salmonella enterica* subsp. enterica serotype Choleraesuis. Existen 2.659 serotipos basados en los antígenos flagelares somáticos O y H, según el esquema Kauffmann-White-Le Minor (Monte y Sellera, 2020).

El género *Salmonella* se clasifica en 2 especies, *S. enterica* y *S. bongori*; *S. bongori* incluye especies menos patógenas y que afecta principalmente a reptiles; *S. enterica* se divide en 6 subespecies: *enterica*, *salamae*, *arizonae*, *diarizonae*, *houtenae* e *indica*, esta nomenclatura refleja la comprensión actual de la taxonomía de esta bacteria (Tindall *et al*., 2005; Guibourdenche *et al*., 2010; Monte y Sellera, 2020). Actualmente, en la primera mención en una publicación, se utiliza el nombre completo de la especie, por ejemplo "*Salmonella enterica*". Después se debe nombrar la subespecie (ejemplo, *Salmonella enterica* subsp. *enterica*). A esto le sigue la palabra "serotipo" o la abreviatura "ser." junto con el nombre del serotipo sin cursiva con la primera letra en mayúscula. Así, el nombre completo sería, por ejemplo, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ser. Typhi, pero las menciones posteriores del nombre se podrían escribir como *Salmonella* Typhi o *S*. Typhi (Guibourdenche *et al*., 2010).

2.2.3. Biología celular

Salmonella es un bacilo Gram-negativo, que no forma esporas, con un tamaño promedio de 2-5 µm de longitud y 0.5-1 µm de diámetro, oxidasa negativa, catalasa positiva, aerobia o anaerobia facultativa, productora de sulfuro de hidrogeno, descarboxila lisina y ornitina, pero no hidroliza urea (Gut *et al*., 2018; Mondragón *et al*., 2022).

Salmonella puede crecer a un rango de temperatura de entre 5-54 °C, pero su temperatura óptima es de 35-37 °C (Bhunia, 2018), tolera concentraciones de sal de hasta 8%, considerándose el 9% bactericida, y una actividad de agua de menos de 0.93 es inhibidora de su crecimiento (Jay *et al*., 2005; Burgess *et al*., 2016). También puede tolerar un amplio rango de pH desde 3.5 hasta 9.5, con un pH óptimo de 6-7 (Jay *et al*., 2005; Bhunia, 2018).

Casi todas las especies de *Salmonella* son móviles a través de flagelos perítricos (Ryan *et al*., 2017), lo que le permite moverse hacia condiciones favorables o alejarse de condiciones adversas. *Salmonella* presenta apéndices extracelulares llamados fimbrias o pili, que son estructuras filamentosas de 0.5-1.0 µm de la superficie que les permiten la adhesión a células del hospedador y a otras superficies (Tsui *et al*., 2003; Rehman *et al*., 2019; Teklemariam *et al*., 2023).

Salmonella puede portar plásmidos que codifican genes responsables de la resistencia a antibióticos o factores de virulencia (Lima *et al*., 2019). La pared celular de *Salmonella*

está compuesta por una membrana externa con lipopolisacáridos (LPS), una capa delgada de peptidoglicano y una membrana interna. El LPS tiene un papel importante en la inmunogenicidad y la resistencia a los mecanismos de defensa del hospedador (Krzyżewska-Dudek *et al*., 2022; Van Puyvelde*et al*., 2022). Además, algunas cepas como *S*. Typhimurium o *S*. Typhi poseen una cápsula (antígeno Vi), un polisacárido extracelular que favorece la evasión del sistema inmune y contribuye a la resistencia a la fagocitosis (Marshall y Gunn, 2015). En la figura 2 se observa las principales estructuras de *Salmonella* extraído de Teklemariam *et al*. (2023). La capsula o antígeno Vi es presente en *Salmonella typhi*.

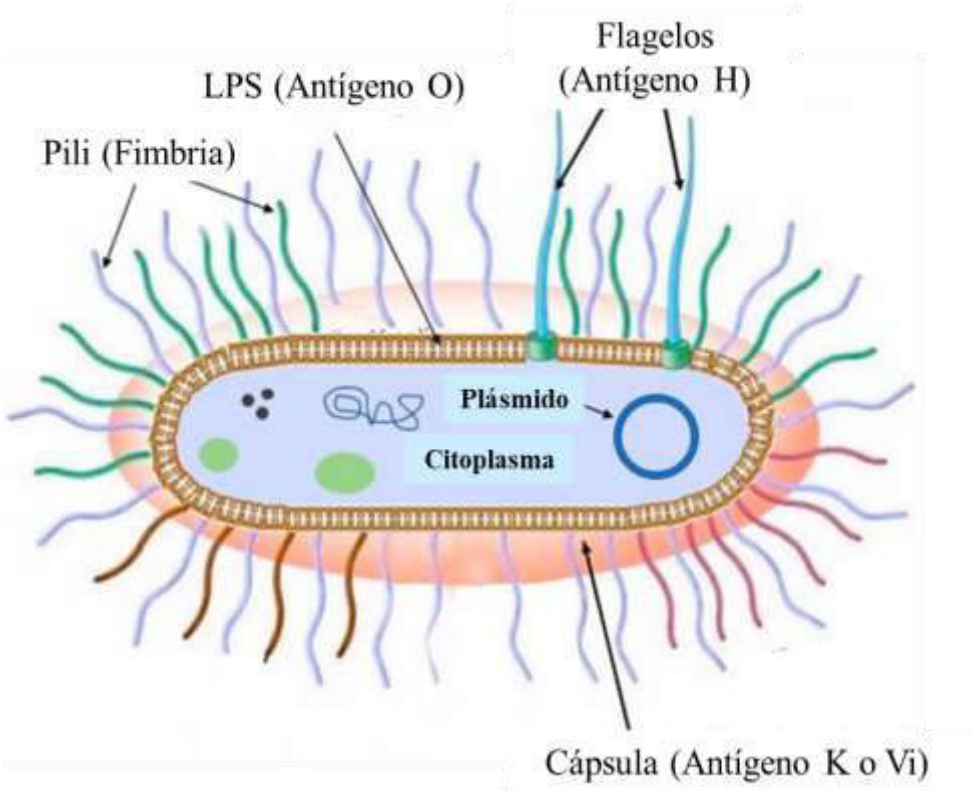


Figura 2. Esquema de la estructura celular de *Salmonella* (Teklemariam *et al*., 2023).

2.2.4. Hábitat

Salmonella es un muy buen ejemplo de evolución exitosa y adaptación a diferentes nichos y huéspedes. Puede persistir durante días, semanas o incluso meses en superficies contaminadas dependiendo de las condiciones ambientales. Por ejemplo, *Salmonella* puede estar presente en aguas superficiales que se usa para el riego en agricultura y en

general puede sobrevivir en medios acuáticos por diversos mecanismos, entre ellos la entrada al denominado estado viable pero no cultivable y/o residiendo dentro de protozoos de vida libre (Liu *et al*., 2018). *Salmonella* también puede sobrevivir en las superficies de las plantas y el suelo, en especial suelo contaminado con estiércol, donde se ha reportado que puede sobrevivir hasta 332 días (Fatica y Schneider, 2011; Jacobsen y Bech, 2012). Los factores determinantes de la supervivencia de *Salmonella* en estas condiciones ambientales son el tipo de suelo y la temperatura ambiental (Underthun *et al*., 2018).

Salmonella está presente en el tracto intestinal de aves, reptiles, tortugas, insectos, animales y seres humanos. Las aves son la principal fuente de salmonelosis humana transmitida por los alimentos, en parte debido a las operaciones de cría de alta densidad, que permiten que las aves propaguen el microorganismo en los galpones (Bhunia, 2018; Ehuwa *et al*., 2021). Similar situación favorecería la colonización de *Salmonella* en los galpones de cuyes. Desde el tracto digestivo de los animales o desde el medio ambiente, *Salmonella* tiene la potencialidad de contaminar y tolerar las diferentes condiciones intrínsecas de los alimentos para consumo humano (Teklemariam *et al*., 2023).

La salmonelosis humana suele ser de origen alimentario y se contrae a través del consumo de alimentos de origen animal contaminados, como la carne, la leche, las aves de corral, el pescado y los huevos (Ehuwa *et al*., 2021; Mohamed *et al*., 2024). Los productos lácteos, incluidos el queso y el helado, también están implicados en brotes de salmonelosis; Sin embargo, las frutas, verduras y los frutos secos, como la lechuga, los tomates, el cilantro, los brotes de alfalfa, los cacahuetes, las almendras, el melón cantalupo y el mango, también se han visto implicados en brotes recientes; También puede producirse la transmisión de animal a humano o de humano a humano (Bhunia, 2018). Asimismo, *Salmonella* puede estar presente en superficies inanimadas de entornos de procesamiento de alimentos domésticos e industriales (como acero inoxidable, plásticos, etc.) donde favorece su persistencia y riesgo de contaminación cruzada (Kusumaningrum *et al*., 2003; Schlisselberg y Yaron, 2013). De hecho, el matadero es un lugar donde *Salmonella* puede estar presente, persistir y diseminarse, resultando en una constante fuente de contaminación para la carne (Arguello *et al*., 2013; Zhou *et al*., 2018; Dantas *et al*., 2020; Zeng *et al*., 2021).

2.2.5. Resistencia a condiciones adversas

El éxito de la *Salmonella* como patógeno transmitido por alimentos se debe principalmente a su notable diversidad genética y su extraordinaria capacidad de adaptación (Lago *et al*., 2017; Guillén *et al*., 2021). *Salmonella* pueden sobrevivir en entornos hostiles, competir con éxito por los nutrientes y causar enfermedades una vez dentro del huésped. Para ello, reprograma rápidamente su metabolismo, pasando de un estado de resistencia al estrés a uno de crecimiento o virulento en corto tiempo, o incluso de expresar resistencia al estrés y factores de virulencia al mismo tiempo, gracias a una red reguladora compleja y finamente ajustada (Guillén *et al*., 2021).

El factor sigma S (RpoS) se considera el regulador principal de la respuesta general al estrés en muchas bacterias Gram-negativas, incluida *Salmonella*, que se expresa en respuesta al estrés ácido, calor y estrés oxidativo, entre otros, y para ello modula el 38% del proteoma de la bacteria (Lago *et al*., 2017). Además de RpoS, *Salmonella* codifica otros factores sigma alternativos, de los cuales RpoE es uno de los más importantes, pues se expresa como respuesta al estrés ácido, estrés oxidativo, choque térmico, inanición, formación de biofilm, radiación ultravioleta A, fago P22 y choque osmótico, entre otros (Guillén *et al*., 2021).

Frente a la alta presión osmótica, por ejemplo, la respuesta adaptativa de *Salmonella* incluye la acumulación de osmoprotectores (betaína, prolina y trehalosa) y solutos como potasio, cambios en la composición y permeabilidad de su membrana, entre las más importantes consecuencias de la activación de RpoS y RpoE (Álvarez-Ordóñez *et al*., 2011; Guillén *et al*., 2021). Frente a condiciones ácidas, *Salmonella* responde a través de sistemas homeostáticos de pH, modificaciones de la composición de la membrana y síntesis de proteínas de choque ácido (Álvarez-Ordóñez *et al*., 2011). Frente a especies reactivas de oxígeno de la industria (desinfectantes o aditivos) y de las células fagocíticas, *Salmonella* posee mecanismos de resistencia que incluye la producción de enzimas (como superóxido dismutasas, hidroperóxido reductasas, catalasas, peroxidasas, oxidorreductasas periplásmicas, proteasas, entre otras), proteínas (como RecA, LexA y SulA) y varias chaperonas, que en conjunto reparan los daños en el ADN (Ibarra y Steele-Mortimer, 2009; Wypij *et al*., 2018). También la inducción de cambios en la permeabilidad de la membrana favorece la tolerancia de *Salmonella* frente al estrés oxidativo (van der Heijden *et al*., 2016). Frente al frio, *Salmonella* activa varios

mecanismos, incluyendo cambios en la composición de su membrana, producción de proteínas (proteínas inducidas por el frío, proteínas de choque frío y de aclimatación al Frío) y cambios en el enrollamiento del AND (Ricke *et al*., 2018).

Salmonella también forma una barrera densa y viscosa que la protege de agentes antimicrobianos, de diversos factores de estrés y del sistema inmune, llamada biofilm (Figura 3; Aleksandrowicz *et al*., 2023). *Salmonella* forma biofilms usando sus fimbrias y produce la denominada matriz extracelular conformada por exopolisacáridos, celulosa, fibras amiloides y otras proteínas (Jonas *et al*., 2007; De Oliveira *et al*., 2014; Di Domenico *et al*., 2017). En esta matriz ocurre también transferencia de genes de virulencia o resistencia a antibióticos (Sholpan *et al*., 2021; Kim *et al*., 2022).

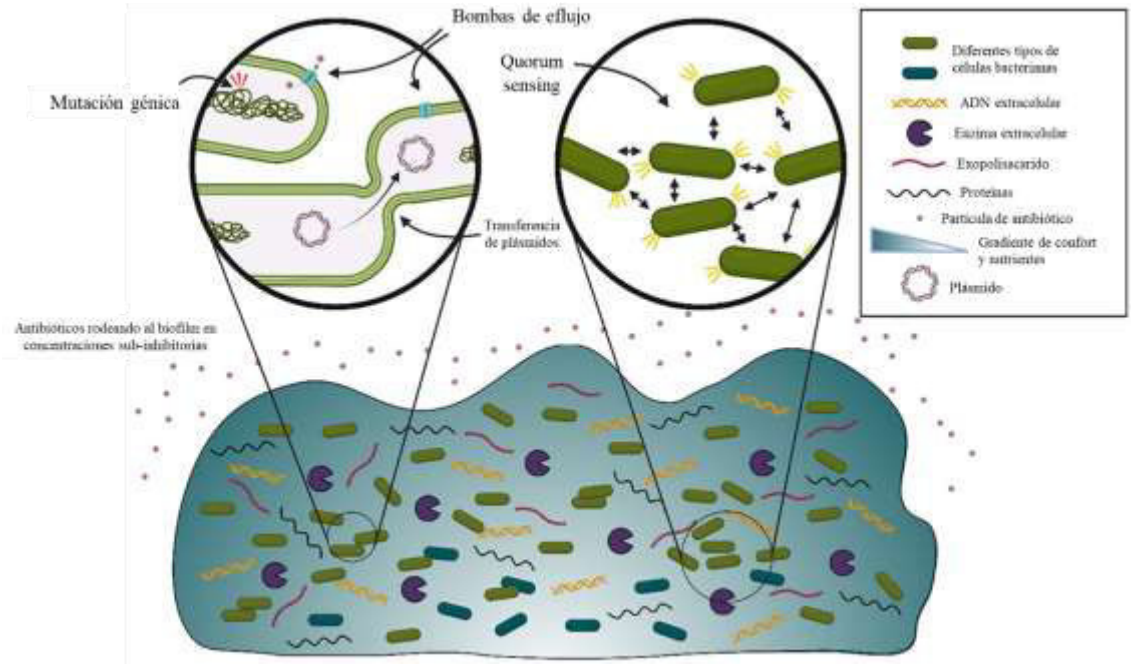


Figura 3. Esquema de la estructura y mecanismos de resistencia de un biofilm de *Salmonella* (modificada de Aleksandrowicz *et al*., 2023).

2.2.6. Patogénesis

Los flagelos, fimbrias y adhesinas de *Salmonella* facilitan su adhesión a la célula huésped (Gut *et al*., 2018). Gracias a su componente de membrana LPS, antígeno O y cápsula evaden el sistema inmune (Van Puyvelde*et al*., 2022; Zang *et al*., 2025). *Salmonella* emplea los llamados sistemas de secreción tipo III, codificados en islas de patogenicidad (SPI-1 y SPI-2), con los que forman un poro en la membrana de la célula huésped, por donde "inyectan" proteínas efectoras que modulan la respuesta de esta célula,

reorganizando su citoesqueleto, evitan la fusión del fagosoma con los lisosomas e inducen la producción de citosinas proinflamatorias, que a su vez aumentan su patogenicidad (Dos Santos *et al*., 2020). Posteriormente, *Salmonella* puede afectar el intestino y utilizar la linfa para migrar a los ganglios linfáticos mesentéricos antes de ser transportadas a otros órganos como el bazo e hígado (Bravo-Blas *et al*., 2019).

En humanos, *Salmonella* spp. puede causar tres enfermedades distintas, una de ellas es la salmonelosis no tifoidea no invasiva, que cursa con enterocolitis aguda con diarrea, dolor abdominal y vómitos tras ingerir >50.000 bacterias, resuelve en 5-7 días (Kurtz *et al*., 2017). La salmonelosis no tifoidea invasiva, asociada principalmente con *S*. Typhimurium y *S*. Enteritidis, se presenta típicamente como una enfermedad sistémica febril, rara vez con diarrea y que puede ser letal en personas del grupo poblacional en riesgo como niños, ancianos e inmunosuprimidos (Feasey *et al*., 2012). La fiebre tifoidea es causada por los serotipos Typhi y Paratyphi y se presenta como fiebre sostenida, cefalea, hepatosplenomegalia, con portadores crónicos en vesícula biliar (Parry *et al*., 2002). La salmonelosis no tifoidea rara vez requiere antibióticos, mientras la tifoidea usa cefalosporinas o quinolonas (Kurtz *et al*., 2017).

2.2.7. Epidemiología

Actualmente, *Salmonella* se considera un patógeno reemergente (De Cesare, 2018). La salmonelosis representa una carga considerable, siendo alta en países en desarrollo, pero también es de considerable importancia en los países desarrollados (Angulo y Mølbak, 2005). En Estados Unidos, se estima que el 95% de las infecciones por *Salmonella* tienen su origen en alimentos (Fatica y Schneider, 2011).

Anualmente, *Salmonella* produce de 93.8 millones (61-131 millones) de gastroenteritis (de estos se calcula que 80.3 millones son transmitidas por alimentos) y 155 mil (39-303 mil) muertes (Majowicz *et al*., 2010; Eng *et al*., 2015). En Estados Unidos, *Salmonella* está relacionada con 1.35 millones de casos, provocando aproximadamente 27 mil hospitalizaciones y causando 420 muertes anuales (CDC, 2023). Además, entre estos casos, se estima que unos 213 mil casos se deben a *Salmonella* no tifoidea resistente a los medicamentos. Además, estas infecciones suponen una importante carga económica, que representaría unos 400 millones de dólares anuales en costes médicos directos (CDC, 2019, 2023).

La salmonelosis no tifoidea es la segunda enfermedad zoonótica más frecuente en la Unión Europea y en los Estados Unidos después de la campylobacteriosis (Tack *et al*., 2020; EFSA/ECDC, 2024). *Salmonella enterica* Enteritidis y Typhimurium son causa de aproximadamente el 50% de las infecciones humanas por *Salmonella* en todo el mundo (Galanis *et al*. 2006). En tanto, la fiebre tifoidea es responsable de 21 millones de casos nuevos cada año que conducen a un estimado de 200 mil muertes (Kurtz *et al*., 2017).

La transmisión más común al hombre es la vía alimentaria, y uno los vehículos más importantes son de origen animal, a través del huevo o la carne cruda o mal cocida de aves, cerdo o vacuno infectada con *Salmonella* debido a malas prácticas en el matadero o al momento del expendio (Zambrano *et al*., 2013; Bulcha y Kinati, 2024; Lamichhane *et al*., 2024). Asimismo, la carne contaminada puede propagar *Salmonella* en los puestos de venta, hogares e industrias, vía contaminación cruzada, potenciada por biofilms que permiten su persistencia en superficies como tablas de picar y áreas de trabajo (Dantas *et al*., 2018; Pang *et al*., 2023)

2.3. El cuy como alimento

2.3.1. Antecedentes históricos

Históricamente, los roedores han sido una fuente de alimento vital para la humanidad, siendo el cuy (*Cavia porcellus*) el primer roedor domesticado para este fin hace aproximadamente 3000 a 6000 años en los actuales Andes centrales peruanos (Spotorno *et al*., 2004; Walker *et al*., 2014). En el Perú prehispánico, su relevancia trascendió lo nutricional para integrarse en la esfera ritual y simbólica de culturas como Sechín, Paracas, Wari, Chimú, Virú y Mochica, donde se han hallado evidencias que van desde coprolitos y cerámicas (Figura 4) hasta inclusiones mortuorias (Chauca, 1997; Rosenfeld, 2008; deFrance, 2021). Durante el Imperio Incaico, la crianza de cuyes también representaba un símbolo de estatus social y un elemento esencial en las ofrendas ceremoniales (Kimura *et al*., 2016).

Con la llegada de los españoles, el consumo de cuy experimentó una dicotomía geográfica y social: mientras en las zonas altoandinas se mantuvo como alimento, en la costa fue marginado por españoles y descendiente, desplazando sus roles simbólicos a la clandestinidad por imposiciones religiosas (deFrance, 2021). Paralelamente, el periodo

colonial marcó la expansión del cuy hacia Europa, donde se transformó en mascota, como atestiguan diversas pinturas de la época (Figura 4), rol que predomina globalmente hasta hoy junto con su uso como animal de laboratorio (Lord *et al*., 2020; Grădinaru y Popa, 2025).

A partir de 1970, la crianza de cuyes inició un proceso de tecnificación mediante proyectos de selección genética enfocados en la productividad y la diferenciación de razas (Chauca, 2022). Esta evolución ha permitido transitar de una producción familiar de subsistencia hacia explotaciones comerciales de gran escala que emplean líneas mejoradas (Sánchez-Macías *et al*., 2018). En la actualidad, el cuy se perfila como una alternativa estratégica ante el cambio climático debido a su alta prolificidad, adaptabilidad, docilidad y capacidad para transformar forrajes de bajo costo en proteína de alta calidad nutricional (Sánchez-Macías *et al*., 2018; deFrance, 2021).



Figura 4. Expresiones artísticas relacionadas al cuy. Izquierda: Huaco prehispánico con forma de cuy (Marroquín, 2015). Derecha: Pintura del siglo XVII del artista polaco Teodor Lubieniecki exhibida en el museo nacional de Cracovia (deFrance, 2019).

2.3.2. Crianza de cuyes en el Perú

Las poblaciones de cuyes se clasifican principalmente criollos, caracterizados por su rusticidad y adaptabilidad, pero con bajo rendimiento cárnico, y animales mejorados, seleccionados genéticamente para optimizar su productividad (Chauca, 2022; Grădinaru y Popa, 2025). Entre estos últimos destacan las razas Perú (crecimiento precoz), Andina (alta prolificidad) e Inti (adaptabilidad), cuyas combinaciones han dado origen a líneas como la Kuri (Chauca, 2022). Asimismo, instituciones académicas y experimentales han

desarrollado ecotipos especializados mediante cruces selectivos, tales como los Cuyes G del IVITA (UNMSM), la línea Cieneguilla (UNALM) y la línea Inka (INIA), todas enfocadas en maximizar la calidad de la carcasa y la eficiencia reproductiva (Cedano-Castro *et al*., 2023; Rubio *et al*., 2018; INIA, 2022).

Su fisiología reproductiva se caracteriza por ser no estacional, con una madurez sexual temprana (3-4 meses) y una alta eficiencia reproductiva debida al estro posparto, lo que permite intervalos entre partos de aproximadamente 70 días y más de cinco camadas anuales (Sánchez-Macías *et al*., 2018; INIA, 2020). Desde el punto de vista digestivo, es un herbívoro con un colon y ciego voluminoso que facilita la fermentación de la celulosa; además, su comportamiento coprófago le permite optimizar la absorción de vitaminas del complejo B sintetizadas por su flora cecal (Richardson, 2000; Sánchez-Macías *et al*., 2018).

La eficiencia productiva del cuy destaca por su capacidad de transformar dietas mixtas (90-50% de forraje y 50-10% de concentrado) en canales cárnicas de 1100 g entre las 10 y 13 semanas de edad, produciendo 1.26 g de canal por cada gramo de concentrado consumido, a diferencia de cerdos y pollos que producen 0.3-0.5 g de canal por cada gramo de concentrado consumido (Lammers *et al*., 2009; Flores *et al*., 2018). Su índice de conversión alimenticia oscila entre 7-10 en animales criollos con dietas de forraje o residuos de cocina, y alcanza 2.8-3.7 bajo regímenes de alimentación balanceada en líneas mejoradas (Huamaní *et al*., 2016; Aliaga y Gómez, 2020). La explotación de cuyes suele realizarse en pozas sobre suelo o jaulas metálicas que optimizan el espacio y la sanidad. Chauca (1997) clasifica la producción de cuyes en tres niveles: el familiar, basado en el autoconsumo y crianza rústica; el familiar-comercial, orientado a mercados locales con manejo técnico intermedio; y el comercial, que emplea infraestructura avanzada y líneas genéticas mejoradas.

2.3.3. Salmonelosis en explotaciones de cuyes

Aunque son bastante sanos por naturaleza, la intensificación de las prácticas ganaderas que se ha ido implementado a través del tiempo ha favorecido los problemas sanitarios que aquejan al cuy (Harkness *et al*., 2002). Son susceptibles a una serie de enfermedades internas (respiratorias, del aparato digestivo) y externas (ácaros, hongos, tiña) que pueden destruir a los ejemplares y diezmar poblaciones enteras (Chauca 1997).

La principal enfermedad infecciosa que afecta su producción es la salmonelosis, pues ocasiona mortalidad y se disemina rápidamente en los galpones de cuyes, pero también puede estar inadvertida en animales sanos, lo que dificulta su control, y además por su impacto sobre la salud pública (Salvatierra *et al*., 2018; Carhuaricra *et al*., 2022; Duran, 2023). Matsuura *et al*. (2010) encontraron una prevalencia de 61.5% de *Salmonella* en Carhuaz (Perú). Ortega *et al*. (2015) detectó que *Salmonella* se encontraba en el 8.5% de los cuyes mortinatos. Chero *et al*. (2017) reportaron 2.9% de *Salmonella* en cuyes clínicamente sanos de Lima. Angulo-Tisoc *et al*. (2021) detectaron *Salmonella* en el 13.8% de los cuyes muertos en crianzas familiares-comerciales de Cuzco. El principal serotipo de *Salmonella* de cuyes es el Typhimurium (Marcelo, 2015).

La salmonelosis en cuyes puede presentarse como una enteritis aguda que puede ser hemorrágica; también suele presentarse abortos, septicemia y muerte; en casos crónicos puede haber baja ganancia de peso y una pobre condición corporal (Richardsonn, 2000; Ortega *et al*., 2015; Espinoza *et al*., 2023). Al post mortem, en los casos de salmonelosis se puede observar edema, congestión y hemorragia en diversos órganos, megalia y necrosis del bazo e hígado, agrandamiento de los nódulos linfáticos mesentéricos e hiperemia de los intestinos (Layme *et al*., 2011; Espinoza *et al*., 2023).

2.3.4. La carne de cuy en el Perú

La carne de cuy se obtiene tras el proceso de sacrificio que inicia con el aturdimiento y el degüello para el desangrado, seguido de un escaldado a 60 °C por 1 minuto para facilitar el depilado; Posteriormente, la carcasa se somete a eviscerado, retoque, lavado y enfriamiento en agua, finalizando con el oreo de las canales por un periodo inferior a una hora (Lucas *et al*., 2017, 2018).

La carne de cuy destaca por su alto valor proteico (18-21%) y un perfil lipídico caracterizado por un bajo contenido de grasa (<8%), pocas calorías y niveles reducidos de colesterol (65 mg/100 g) en comparación con carnes convencionales como la de vacuno o porcino (Sánchez-Macías *et al*., 2018; Herrera *et al*., 2022). Además, el 50% de sus lípidos corresponde a ácidos grasos poliinsaturados, aportando también minerales esenciales y vitaminas del complejo B, lo que la posiciona como una alternativa cárnica altamente saludable (Avilés *et al*., 2014; deFrance, 2021).

Perú ha experimentado un boom gastronómico y turístico en las últimas décadas, siendo reconocido como el actual destino culinario líder a nivel mundial; el cuy ha acompañado este ascenso, evolucionando desde sus preparaciones tradicionales (como el cuy “colorado", “en pachamanca”, "al horno", "frito" o "guisado"), hacia la alta cocina (Mata, 2013). La gastronomía moderna ha impulsado su transformación culinaria en restaurantes de alta gama, donde se sirve completamente desmembrado, deshuesado y aplicándose técnicas como el *sous-vide*, resultando en nuevas presentaciones (como el "Cuy Pekín" o “Cuy crocante con tamales de garbanzo”), que realzan su palatabilidad, posicionándolo como un producto gourmet con potencial de exportación (Mata, 2013; Rodríguez, 2025). En la figura 5 se observan algunos platos a base de cuy.



Figura 5. Algunas preparaciones tradicionales (arriba) y de cocina de alta gama (abajo) realizadas con el cuy. A. Cuy guisado; B. Cuy frito; C. Cuy crocante con tamales de garbanzo; D. Cuy Pekín; (Mata, 2013; Marroquín, 2015; Rodríguez, 2025).

2.3.5. Desafíos en la producción y exportación de la carne de cuy

En el Perú se estima que se crían más de 25 millones de cuyes y que aproximadamente el 90% de esta producción es para autoconsumo (MIDAGRI, 2023). Un tercio de los agricultores nacionales poseen cuyes y el 75 % de estos criadores tienen pequeñas unidades de producción de menos de 3 hectáreas (MIDAGRI, 2023). Así, la crianza de cuyes en el Perú genera ingresos a 800 mil familias del sector rural de la sierra (INEI,

2022), constituyéndose como una actividad muy importante para la seguridad alimentaria y la economía del hogar andino.

Su crianza está distribuida en casi todo el territorio nacional, aunque está mayoritariamente presente en las zonas de sierra. Los principales departamentos donde se cría mayor el número de cuyes son: Cajamarca (19%), Ancash (12.4%), Cuzco (12%), Apurímac (8%), Junín (7.6%), Lima (5.8%), La libertad (5.7%), Huánuco (5.4%), Ayacucho (3.5%), Arequipa (3.4%), Huancavelica (2.7%), etc. (INIA, 2020).

El 2021, el consumo de cuy en el Perú se estima fue de 22 mil toneladas, lo que supone un consumo per cápita de alrededor de 0.7 (INEI, 2022). Perú es el mayor exportador mundial de carne de cuy con una participación de aproximadamente 78% en el mercado internacional y el 99.9% de las exportaciones peruanas de carne de cuy tiene como destino los Estados Unidos (MIDAGRI, 2020). Perú inició sus exportaciones en 1994, exportando 132 kg, el 2004 se exportaba casi 4500 kg, el 2014 se exportó más de 13 mil kg y en los últimos 10 años mantendría una tendencia de crecimiento anual de aproximadamente 18% (Álvarez, 2014; Sánchez, 2019; MIDAGRI, 2023).

La exportación de carne de cuy a Estados Unidos tiene una proyección cuyo techo está lejos de alcanzarse (Sánchez, 2019; Espinoza *et al*., 2020; MIDAGRI, 2020, 2023). Esto se debe por la creciente demanda de carne de cuy del mercado estadounidense impulsada por los migrantes latinos y los tratados de libre comercio. Sin embargo, esta industria con gran potencial de crecimiento está constantemente amenazada por diversos factores, entre ellos la presencia de patógenos en la carne que podría conducir a su retiro del mercado por parte de las autoridades sanitarias nacionales e internacionales, lo que además supondría posteriores obstáculos en su comercialización o, incluso, el cierre de mercados internacionales.

Uno de los patógenos que representan un peligro para la salud pública y una limitante para el despegue de esta exportación es la contaminación de la carne con *Salmonella*, que puede ocurrir al sacrificio y expendio de la carne, encontrándose en el 5-34% de las canales (Cayro, 2013; Soriano, 2020; Mansilla *et al*., 2023). De hecho, garantizar los estándares de calidad y sanidad de la carne de cuy es uno de los grandes desafíos por

resolver para acceder o fortalecer la comercialización en mercados de mayor poder adquisitivo, como el estadounidense o el europeo (MIDAGRI, 2023).

En todo el mundo las autoridades sanitarias siguen el concepto denominado como "Objetivo de Seguridad Alimentaria" (FSO, *Food Safety Objective*), establecido por la ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods), que para *Salmonella* corresponde a su ausencia en 25 g (MINSA, 2008). Por tanto, se requiere de estrategias que permitan garantizar la inocuidad de este producto al mismo tiempo que preserven las características sensoriales de la carne fresca. Uno de los tratamientos que podría aplicarse a la carne con este propósito es la irradiación de alimentos, aunque para ello se requiere determinar la dosis mínima necesaria que consiga el FSO en la carne de cuy y que al mismo tiempo no afecte sus características, por lo que resolver esta necesidad constituye el objetivo del presente trabajo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño experimental

La determinación de la dosis higienizante respecto a *Salmonella* en carne de cuy se abordó mediante una doble validación: primero, el establecimiento de la cinética de inactivación microbiana (valor D) en carne de cuy inoculada experimentalmente; y segundo, la ejecución de un mapeo de dosis absorbida en las canales. Este enfoque integral permitió confirmar la viabilidad técnica de la dosis mínima necesaria para el control de *Salmonella* bajo condiciones específicas de procesamiento. Finalmente, se evaluó el efecto del tratamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la carne de cuy con el fin de establecer el tratamiento más apropiado. Las partes del estudio se esquematizan en la figura 6.

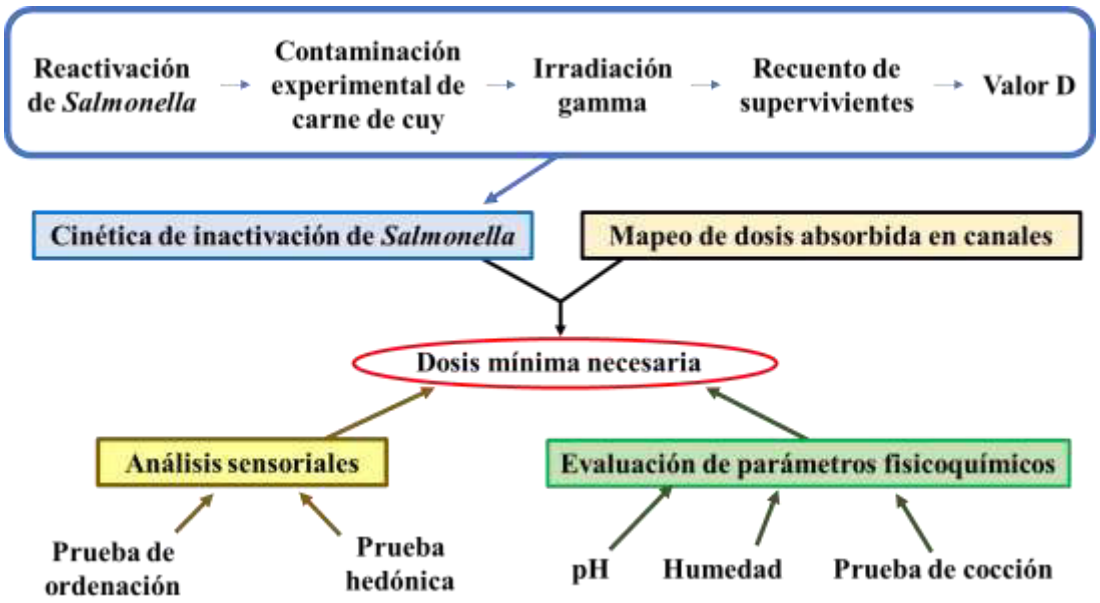


Figura 6. Esquema de los experimentos que englobaron el estudio.

3.2. Reactivación de las cepas y preparación del inóculo

Previamente, se aisló mediante microbiología convencional, dos cepas de *Salmonella* spp. de carcasas de cuyes de la sala de oreo al final del proceso de sacrificio en un matadero de la sierra central. Se confirmaron las especies y el serotipo mediante PCR y se realizaron análisis de susceptibilidad a los antibióticos mediante Kirby-Bauer. Finalmente, se secuenciaron dos cepas representativas para usarlas en este estudio, las cuales fueron almacenadas en congelación a -20°C, en caldo tripticasa de soya y glicerol. La

metodología y resultados usados en el aislamiento y caracterización de estas cepas se describen en el Anexo 1.

Posteriormente, una pequeña cantidad de cada cultivo congelado se inoculó en 9 ml de caldo TSB e incubó a 32ºC por 24 h. A partir de este primer subcultivo, se prepararon dos subcultivos sucesivos con la proporción 1:10 bajo las condiciones antes descritas. Los cultivos se prepararon inoculando en 9 ml de TSB, 1 ml de cada cultivo reactivado, y procediendo a su incubación a 32°C por 24 h. Similar a lo descrito por Lucas *et al*. (2020), los cultivos se centrifugaron a 12000 RPM durante 3 min, en tubos eppendorf de 2 ml. Se descartó el sobrenadante y el sedimento se resuspendió con 1 ml de suero fisiológico estéril, consiguiendo una suspensión bacteriana de aproximadamente 9 log/ml.

3.3. Contaminación e irradiación de la carne de cuy

Para todos los estudios del presente estudio, se adquirieron canales de cuyes machos de aproximadamente 750-800 g sacrificados y distribuidos el mismo día por un proveedor local (Lima). Debido a la morfología compacta y el reducido volumen muscular del cuy, se seleccionó la región caudal de los miembros posteriores (región isquiotibial) para la obtención de muestras de carne para la contaminación experimental. Se recolectaron porciones de aproximadamente 20 g de músculo sin piel, compuestas principalmente por el bíceps femoral, semimembranoso y semitendinoso, que se esterilizaron previamente mediante radiación gamma a 10 kGy.

Se inoculó 100 µl de la suspensión bacteriana (cultivos recientes tras 24 h de incubación, aproximadamente 9 unidades log/ml) directamente sobre la superficie de los trozos, similar lo descrito por Lucas *et al*. (2021ab, 2023b). En total se prepararon 30 muestras (trozos) por cada tipo de cepa aislada, contaminados que se envasaron al vacío individualmente en bolsas comerciales para tal fin, de plástico transparente impermeable, para envasar alimentos.

Las muestras envasadas se trasladaron en refrigeración (4ºC) a la planta de irradiación comercial del SENASA (La Molina, Lima, Perú) que cuenta con un irradiador de Co-60 (99.9% de pureza) Gamma Beam Irradiator para tratar alimentos. Se aplicaron dosis 1 y 2 kGy de radiación gamma. Las muestras se irradiaron siempre acompañadas de dosímetros, film Gafchromic^{TM} HD-V2, (Ashland Inc., USA), que verificaron la dosis

absorbida. Además, se mantuvieron sin irradiar muestras control. Posteriormente, todas muestras se llevaron al laboratorio a 4ºC.

3.4. Recuentos de *Salmonella* spp. supervivientes

Los recuentos se realizaron mediante diluciones decimales utilizando suero fisiológico estéril como diluyente. Las muestras irradiadas y sin irradiar se pesaron y se homogenizaron con una cantidad conocida de suero fisiológico estéril (usualmente 20 ml) en un homogenizador dentro de una bolsa de stomacher y por 2 min. A partir de este homogenizado se prepararon las diluciones decimales y se sembró en agar XLD (35ºC/24 h). Los recuentos se realizaron con ayuda de un contador de colonias.

3.5. Estudio de la cinética de inactivación de las cepas de *Salmonella* spp.

A partir de los recuentos obtenidos, se elaboraron las curvas de supervivencia de cada cepa, representándose gráficamente como el número de supervivientes en escala logarítmica en función de la dosis aplicada determinando la ecuación de regresión lineal. La dosis de reducción decimal (*valor-D*) se calculó a partir de la ecuación de regresión lineal, como la inversa de la pendiente (*Valor-D* = 1/tg α), determinando con ello la radiorresistencia de cada cepa usada. El número de reducciones decimales que causa una dosis especifica, se calculó dividiendo la dosis aplicada (kGy) entre el *Valor-D*. Además, con este *valor-D* se calculó la dosis de irradiación mínima necesaria para alcanzar la higienización de *Salmonella* de la carne de cuy.

3.6. Mapeo de dosis de la carcasa de cuy

Para determinar si la dosis requerida para eliminar *Salmonella* llega a distribuirse en la carcasa de cuy y con ello establecer su uso potencial como tratamiento higienizante, se realizó un mapeo de dosis. El mapeo de dosis es un procedimiento fundamental que permite caracterizar la distribución espacial de la dosis absorbida dentro las canales de cuy. El mapeo de dosis se llevó a cabo usando el irradiador antes mencionado y dosímetros de film Gafchromic^{TM} HD-V2 (Ashland Inc., USA), siguiendo las recomendaciones generales de la norma ISO/ASTM 51261:2013.

Los dosímetros se colocaron en diferentes ubicaciones anatómicas de las canales, representativas de posiciones internas y externas. Un dosímetro se insertó en el interior

de la cabeza y dos dosímetros se ubicaron en las superficies ventral y dorsal de la cabeza; Tres dosímetros se colocaron en la cara interna de la canal a la altura del hombro, tres a la altura del tórax y otros tres a la altura del tren inferior; otros nueve dosímetros adicionales se fijaron en la superficie externa, en las mismas localizaciones anatómicas (Figura 7). Las carcasas con los dosímetros colocados fueron envasadas al vacío antes del tratamiento, para simular condiciones reales de conservación. Se usaron seis canales de aproximadamente 850 g cada una, tres recibieron 1 kGy y otras 3 recibieron 2 kGy.

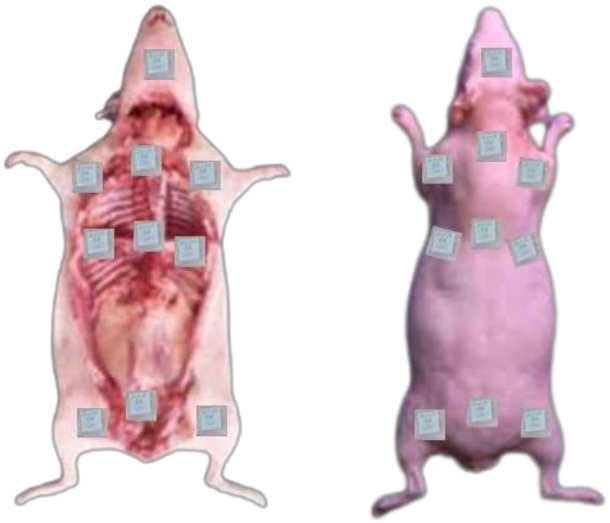


Figura 7. Localización de los dosímetros en la cara interna y externa de una canal de cuy para el mapeo de dosis.

Después de la irradiación, cada dosímetro se midió a una densidad óptica de 595 nm utilizando un espectrofotómetro (GENESYS 20 spectrophotometer, Thermo Scientific, USA), y la dosis absorbida se calculó de acuerdo con la curva de calibración proporcionada por el fabricante.

El índice de uniformidad de dosis, definido como la relación entre la dosis máxima y la dosis mínima absorbida (D_{max}/D_{min}), se calculó para evaluar la homogeneidad de la exposición. La IAEA (2004) e ISO/ASTM 51261:2013 recomiendan que la relación D_{max}/D_{min} no exceda 1.5 para productos con geometría irregular como los alimentos, pues es indicativo de una distribución de dosis adecuada.

3.7. Análisis sensorial de la carne irradiada

Se irradiaron con 0 (grupo control), 1 y 2 kGy, trozos de 20 g de carne de cuy sin piel de la región isquiotibial (bíceps femoral, semimembranoso y semitendinoso; ver apartado 3.3) de aproximadamente 1 cm de grosor y envasados al vacío que se almacenaron en refrigeración (4°C) tras el tratamiento. Las pruebas sensoriales de ordenación y hedónica se realizaron en horas de la mañana antes del almuerzo (aproximadamente 11 am). La prueba de ordenación se realizó para determinar si es posible percibir diferencias significativas sensoriales tras el tratamiento, sin implicar preferencia. Posteriormente, se realizó una prueba hedónica para determinar el nivel de agrado de las muestras por parte de los panelistas.

Se cocinaron los trozos de carne en una parrilla eléctrica previamente precalentada a una temperatura superficial de 150 °C. Los trozos se cocinaron durante cuatro minutos por cada lado, durante los cuales la temperatura interna alcanzó aproximadamente los 75 °C. A continuación, los trozos se enfriaron a temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C) antes de someterlos a pruebas sensoriales. No se aplicó aceite, sal ni otros condimentos.

Las muestras cocinadas fueron repartidas a un panel de catadores constituido por 30 evaluadores entrenados, seleccionados entre los miembros de la universidad de acuerdo a su familiaridad con la carne de cuy, su experiencia previa en las pruebas realizadas y la reproducibilidad en sus evaluaciones (Ver anexo A.2).

Para la prueba de ordenación, los panelistas recibieron muestras correspondientes a los diferentes tratamientos. Los atributos sensoriales considerados fueron el color, el olor, el sabor y la textura. Para cada atributo, se pidió a los panelistas que clasificaran las muestras según sus preferencias. A continuación, se asignaron puntuaciones en orden descendente, otorgando a la muestra mejor clasificada un valor igual al número total de muestras evaluadas (es decir, 3), a la segunda mejor clasificada un punto menos, y así sucesivamente hasta la muestra peor clasificada, que recibió un punto. Se obtuvo una puntuación final (FS) utilizando la siguiente ecuación:

$$FS = (N1\times1) + (N2\times2) + (N3\times3),$$

donde N1, N2 y N3 representan el número de miembros del panel que asignaron la muestra a las posiciones 1 (menos preferida), 2 o 3 (más preferida), respectivamente.

Asimismo, se realizó una evaluación hedónica donde los panelistas evaluaron el color, el olor, el sabor, la textura y la aceptabilidad general, utilizando en todos los casos una escala lineal no estructurada de 10 cm, en la que los extremos se fijaron en 0 = «muy desagradable» y 10 = «muy agradable», con el punto medio (5 cm) indicando el punto de indiferencia. Los panelistas indicaron su respuesta colocando una marca en la escala, que posteriormente se convirtió en un valor numérico para el análisis estadístico (Lucas *et al*., 2020).

3.8. Evaluación del pH, humedad y pérdidas por cocción

Se evaluó si el tratamiento afectó los parámetros fisicoquímicos de pH, humedad y perdida por cocción. El pH se midió del músculo *Longissimus dorsi* de la porción lumbar utilizando un medidor de pH digital con punzón para carne (HI981036, Hanna Instruments, USA). Antes de la medición, el instrumento se calibró usando los tampones de pH 4 y pH 7 (Hanna Instruments, USA). El valor medio del pH se calculó a partir de tres mediciones repetidas de la misma muestra. Se analizaron tres carcasas por tratamiento (0, 1 y 2 kGy).

Para la determinación de la pérdida por cocción se siguió la metodología descrita por Honikel (1998), usando muestras de 3 g del *Biceps femoris* sin irradiar e irradiadas con 1 y 2 kGy. Las muestras se envolvieron en papel de aluminio y se calentaron en un baño maría (WBS-6 pro, Joanlab®; China) durante 30 minutos a 75 °C. Se analizaron tres muestras por tratamiento con dos repeticiones cada una. El peso de las muestras se tomó antes y después del tratamiento térmico. La pérdida de cocción se determinó mediante la siguiente fórmula:

Pérdida de cocción % = W1-W2/W1×100,

Donde W1=peso de la carne antes de la cocción (g) y W2=peso de la carne después de la cocción (g).

El contenido de humedad se determinó según lo descrito por la AOAC (2000), utilizando cápsulas de aluminio deshidratadas mediante calentamiento en una estufa a 110ºC durante 2 h. Tras enfriarse en un desecador, las cápsulas se pesaron vacías en una balanza de precisión. Posteriormente, se pesaron en ellas 2 g del *Biceps femoris* y se deshidrataron a

110ºC por 24 h. Posteriormente, se enfriaron en un desecador de vidrio durante 20 min y se pesaron de nuevo. El extracto seco, en porcentaje, se obtuvo de la relación entre el peso de la muestra seca y el de la muestra fresca multiplicado por 100. El porcentaje de humedad se obtuvo restando del 100% el extracto seco. Se analizaron tres muestras por tratamiento con dos repeticiones cada una.

3.9. Análisis de la información

Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el software estadístico R v.4.5.2 (R Foundation for Statistical Computing, Austria) a través de RStudio interface (v.2026.01.0).

Se determinaron las curvas de supervivencia, junto con sus ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación (R^2) mediante el mencionado programa. Para determinar si existían diferencias significativas en la radiorresistencia de los aislados (valores *D*), las pendientes se compararon mediante una prueba F dentro de un marco de regresión lineal. La significancia del estadístico F ($p < 0.05$) indicó que las tasas de inactivación no eran paralelas. Los intervalos de confianza al 95% (IC 95%) para los valores *D* se calcularon mediante el método Delta, considerando la varianza de las pendientes estimadas.

La dosis de irradiación para la higienización de un alimento siguiendo el concepto del FSO (definido como "el máximo nivel de un peligro (en este caso microbiológico) de un alimento en el momento de su consumo que proporciona un nivel adecuado de protección al consumidor" (Gorris, 2005)), requiere de determinar el denominado criterio del rendimiento (CR), definido como "el efecto necesario en una etapa o conjunto de etapas que contribuye a asegurar que se cumple el FSO" y que para fines de este trabajo son las reducciones decimales microbiológicas que son necesarias conseguir en la carga de *Salmonella* para alcanzar el FSO, y que se calcula mediante Ecuación 1 de la ICMSF (2002).

$$Ho - CR + \Delta = FSO \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Siendo Ho, la contaminación inicial y Δ, el aumento del número de células durante la vida útil del alimento.

Para determinar el denominado criterio del proceso (CP), es decir, “el tratamiento requerido para lograr el CR” (ICMSF, 2002), que para nuestro estudio es la dosis de irradiación a aplicar a la carne, se usó la siguiente Ecuación 2: CP = CR × *Valor* D.

La significación de la prueba de ordenación se evaluó utilizando puntuaciones de Friedman, siguiendo el modelo propuesto por Joanes (1985) y los valores críticos descritos por Christensen *et al*. (2006). Los resultados de la prueba hedónica y los análisis fisicoquímicos (pH, humedad y pérdida por cocción) se evaluaron utilizando un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y la prueba post hoc de Tukey.

IV. RESULTADOS

4.1.- Evaluación del riesgo microbiológico, estudio de la cinética de destrucción de *Salmonella* y mapeo de dosis en la carne de cuy

En el cuadro 2 se observan los recuentos (log UFC/g) de *Salmonella* Typhimurium supervivientes a diferentes dosis de tratamiento de radiación gamma de carne de cuy contaminada experimentalmente con una alta carga (>6 log UFC/g).

Cuadro 2. Recuentos (log UFC/g) de *Salmonella* Typhimurium susceptible (SA) y resistente (RA) a antibióticos, en carne de cuy contaminada experimentalmente y tratada mediante irradiación gamma a dosis de 1 y 2 kGy.

	***Salmonella* Typhimurium (SA)**		***Salmonella* Typhimurium (RA)**	
Dosis	**log UFC/g**	**DE**	**log UFC/g**	**DE**
0 kGy	6.95	0.11	6.20	0.11
1 kGy	3.78	0.11	3.19	0.06
2 kGy	< 1	-	< 1	-

DE: desviación estándar

En el cuadro 3 se observan las ecuaciones de la cinética de destrucción elaboradas a partir de los recuentos. La interpretación práctica de estos resultados se observa en el cuadro 4, que muestra las reducciones decimales teóricas obtenidas con estos tratamientos y el porcentaje de microorganismos eliminados.

Cuadro 3. Ecuaciones de supervivencia y radioresistencia (Valor *D*) para dos aislados de *Salmonella* Typhimurium, susceptible (SA) y resistente (RA) a antibióticos, en carne de cuy contaminada experimentalmente con una carga elevada (>6 log UFC/g).

Microorganismo	**Ecuación de supervivencia**	**Valor *D****	**R^2**
Salmonella Typhimurium (SA)	log CFU/g = 6.9480-3.1637*Dosis(kGy)	0.32	0.99
Salmonella Typhimurium (RA)	log CFU/g = 6.1950-3.0117*Dosis(kGy)	0.33	0.99

*Sin diferencia estadística significativa entre aislados (p=0.4643)

Cuadro 4. Interpretación práctica de los resultados obtenidos tras la irradiación gamma de *Salmonella* Typhimurium susceptible (SA) y resistente (RA) a antibióticos en carne de cuy contaminada experimentalmente.

Microorganismo	Dosis aplicada	Reducciones* (log UFC/g)	Microorganismos eliminados (%)
***Salmonella* Typhimurium (SA)**	1 kGy	3.13	99.925%
	2 kGy	6.25	99.99994%
***Salmonella* Typhimurium (RA)**	1 kGy	3.03	99.907%
	2 kGy	6.06	99.99991%

*Determinado de la división de la dosis aplicada (kGy) entre el *Valor-D*

Con el fin de proponer un tratamiento efectivo para la higienización de la carne de cuy respecto a *Salmonella,* se consideró el objetivo de seguridad alimentaria (FSO) universal y avalado normativamente de ausencia en 25 g. Desde una perspectiva cuantitativa, este estándar traducido a parámetros matemáticos requiere el uso del límite de detección teórico. Dado que el logaritmo de cero es indefinido, la "ausencia" se define cuantitativamente como la presencia de menos de una unidad formadora de colonia en 25 g (1/25 g) que, al extrapolarlo a una unidad de referencia de 100 g, se obtiene una concentración de 0.04 UFC/g, equivalente a la expresión matemática de 4 UFC/100 g (-1,39 log UFC). Por tanto, el valor de -1.39 log UFC representa el umbral máximo de seguridad donde cualquier valor por debajo de este límite cumple matemáticamente con el requisito de ausencia normativa al mismo tiempo que se garantiza la búsqueda de la dosis mínima necesaria que afecte lo menos posible las características del producto.

Para determinar la dosis necesaria para alcanzar este FSO, se debe determinar en primer lugar, el criterio del rendimiento (CR) mediante la ecuación 1 (apartado 3.9; Ho – CR + Δ = FSO); Ho, la contaminación inicial, que tomando los criterios de la ICMSF (2002) en el peor de los casos se considera un máximo 10 células/g (Ho = 10 células/gramo = 1 log). Además, el Δ o aumento del número de células durante la vida útil, para *Salmonella* en carne de cuy en refrigeración es 0. Al sustituir dichos valores, se estimó que para lograr un FSO respecto a *Salmonella* correspondiente a la ausencia en 25 g, se requiere un CR de 2.39; es decir, el tratamiento aplicado debe producir como mínimo una reducción de 2.39 ciclos logarítmicos.

Considerando el escenario más desfavorable, de un valor D de 0.33 kGy, y el CR de 2.39, se determinó mediante la ecuación 2 (apartado 3.9) que la dosis de irradiación mínima necesaria para alcanzar el FSO respecto a *Salmonella* es de 0.79 kGy. Cabe precisar que, con el fin de robustecer el proceso, los ensayos experimentales se diseñaron considerando una dosis de irradiación superior de 1 kGy. Este margen de seguridad no solo garantizó el cumplimiento del FSO, sino que facilita su aplicabilidad técnica, operatividad y escalabilidad en una planta de irradiación industrial, compensando posibles variaciones en la distribución de la dosis.

Se realizó un mapeo de dosis para determinar la distribución de la dosis absorbida tras el tratamiento de irradiación gamma de la carcasa de cuy, cuyos resultados se observan en el cuadro 5. La dosis absorbida en la carcasa de cuy tras aplicar 1 kGy osciló entre 0.97 y 1.14 kGy. Mientras que aplicando 2 kGy la dosis absorbida resultaba en el rango de 1.95 a 2.25 kGy, lo cual explica la cinética de destrucción obtenida (Cuadro 3). Como se puede observar en todos los casos la dosis absorbida fue mayor al mínimo requerido y el D_{max}/D_{min} inferior a 1.5, lo que denota una distribución homogénea de la dosis, incluso dentro del cráneo del cuy, encontrándose dentro de los márgenes aceptables para tratamientos alimentarios, según IAEA (2004) e ISO/ASTM 51261:2013.

Cuadro 5. Dosis absorbida (media y porcentaje), dosis mínima y máxima absorbida e índice de uniformidad de dosis (D_{max}/D_{min}), en diferentes localizaciones anatómicas de carcasas de cuy después de su irradiación a 1 y 2 kGy.

		Dosis absorbida			Uniformidad de dosis		
Dosis	**Localización**	**Media***	**DE***	**%**	**Mínimo***	**Máximo***	D_{max}/D_{min}
1 kGy	Cabeza	1.04	0.03	104	1.01	1.06	1.05
	Hombro	1.02	0.08	102	0.97	1.14	1.18
	Tórax	1.00	0.02	100	0.98	1.02	1.04
	Tren inferior	0.99	0.02	99	0.98	1.00	1.02
	Total	1.01	0.04	101	0.97	1.14	1.18
2 kGy	Cabeza	2.19	0.01	110	2.18	2.20	1.01
	Hombro	2.09	0.08	104	2.02	2.17	1.07
	Tórax	2.09	0.14	105	1.96	2.25	1.15
	Tren inferior	2.08	0.12	104	1.95	2.21	1.13
	Total	2.11	0.10	106	1.95	2.25	1.15

*Expresado en kGy. DE: Desviación estándar

4.2.- Análisis sensorial y fisicoquímico de la carne de cuy irradiada

El pH y la humedad no se vieron afectados por el tratamiento. En contraste, las muestras control (0 kGy) mostraron un menor porcentaje de pérdida de agua por cocción que las muestras irradiadas ($p<0.05$). En el cuadro 6 se observan los parámetros de humedad, pH y perdida por cocción de la carne de cuy tratada con irradiación gamma.

Cuadro 6. Humedad, pH y pérdida por cocción (%) de muestras de carne de cuy envasadas al vacío no irradiadas e irradiadas con 1 y 2 kGy de radiación gamma.

Dosis	Humedad	DE	pH	DE	Pérdida por cocción	DE
0 kGy	66.63^{A}	3.13	6.3^{A}	0.05	21.32^{B}	1.01
1 kGy	72.82^{A}	3.20	6.33^{A}	0.02	28.94^{A}	1.30
2 kGy	71.05^{A}	4.30	6.29^{A}	0.03	28.90^{A}	1.39

^{A,B} letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$).
DE: desviación estándar

A la prueba de ordenación se evidenció diferencia estadística significativa ($p<0.01$) entre las muestras 0 (control) y las irradiadas con 2 kGy respecto al parámetro de olor. Sin embargo, en la prueba hedónica no se detectaron diferencias significativas ($p>0.05$). es decir, que si bien los jueces detectaron diferencias estas no repercutieron en las preferencias de los evaluadores (Figura 7).

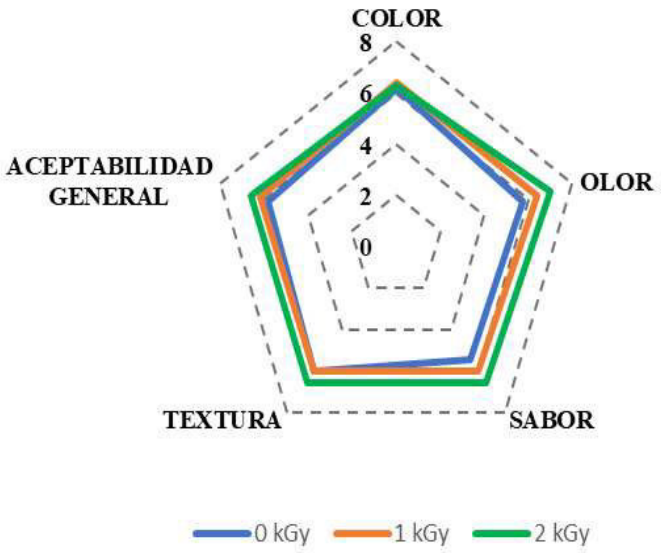


Figura 8. Diagrama en forma de telaraña de las características sensoriales (color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general) de la carne de cuy no tratada y tratada con diferentes dosis de radiación gamma (1 y 2 kGy).

V. DISCUSIÓN

La radiación se utiliza para "pasteurizar" la carne cruda, reduciendo o eliminando las bacterias patógenas. El valor *D* o de radioresistencia de *Salmonella* obtenido en este estudio para la carne de cuy (0.32–0.33 kGy) se encuentra dentro del rango reportado en la literatura que puede variar ligeramente según la especie, la composición tisular o el envasado. En comparación con otras especies de abasto, la carne de cuy presenta un contenido proteico similar o ligeramente menor, así como un bajo contenido de grasa caracterizado por una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados (Lozano *et al*., 2017; Kouakou *et al*., 2013; Sánchez-Macías *et al*., 2018; Herrera *et al*., 2022). Estas particularidades fisicoquímicas podrían contribuir a explicar, al menos en parte, el valor *D* específico que presenta la carne de cuy.

El valor *D* para *Salmonella* spp. en la mayoría de las carnes suelen oscilar entre 0.24 y 0.80 kGy, dependiendo del tipo de carne, parte anatómica (por ejemplo, pierna versus pecho), su composición (como contenido de grasa y contenido de agua), la estructura física del producto (por ejemplo, carne molida versus músculo entero) y la fuente de tratamiento (radiación gamma, rayos X o electrones acelerados) (Tarkowski *et al*., 1984; Thayer *et al*., 1997; Santos *et al*., 2003; Rajkowski *et al*., 2006; Siravati *et al*., 2024).

Tarkowski *et al*. (1984) determinaron un valor *D* de 0.55 a 0.78 kGy de radiación gamma aplicada a la carne de bovino para controlar diferentes serotipos de *Salmonella* spp. Estos mismos autores obtuvieron valores *D* más bajos (0.1-0.21 kGy) para controlar *Yersinia enterocolitica* y *Campylobacter jejuni*. Thayer *et al*. (1997) compararon la resistencia a la radiación gamma de *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* en carne molida de bisonte, avestruz, caimán y cocodrilo a 5 °C, obteniendo que el tipo de carne no influyó significativamente sobre los valores *D*, que fueron en promedio de 0.53 y 0.37 para *Salmonella* spp. y *S. aureus*, respectivamente. Thayer *et al*. (1990) reportaron valores *D* de 0.39 en carne de pollo respecto a *S*. Tiphymurium. Santos *et al*. (2003) y Abrera *et al*. (2021) determinaron un valor *D* que oscilaba entre 0.18 y 0.48 kGy de radiación gamma para higienizar piernas de pollo inoculados con *S*. Typhimurium. Siravati *et al*. (2024) obtuvieron valores *D* de 0.18, 0.21 y 0,19 kGy para eliminar *S*. Typhimurium en muestras de camarones, calamares y almejas, respectivamente.

Rajkowski *et al*. (2006) evaluaron el efecto del tratamiento con radiación gamma en carne molida de cerdo con diferentes niveles de grasa. Estos autores reportaron que el valor *D* de *Salmonella* Typhimurium fue de 0.56 y 0.62 en carne magra y carne con niveles altos de grasa tras el tratamiento con radiación gamma. En pechuga de pollo, Kudra *et al*. (2011) determinaron que los valores *D* en muestras envasadas al vacío y envasadas en atmósfera modificada (rica en CO_2 y CO), fueron de 0.55 y 0.54, respectivamente.

En el presente estudio se determinó que el valor *D* hallado se corresponde con una dosis de 0.79 kGy (operativamente 1 kGy) suficiente para eliminar *Salmonella* en carne de cuy. Este resultado concuerda con reportes previos en otras matrices cárnicas que indican una alta sensibilidad de *Salmonella* spp. a la irradiación ionizante, siendo común que dosis de 1 a 3 kGy sean suficientes para reducir *Salmonella* a niveles que permitan alcanzar los objetivos de seguridad alimentaria (Tarkowski *et al*., 1984; Thayer *et al*., 1997; Santos *et al*., 2003). Abrera *et al*. (2021) reportaron que dosis de entre 0.84 y 1.14 kGy consiguieron una reducción de 6 logaritmos, equivalente a la eliminación del 99.9999%, de cepas de *Salmonella* resistentes a antibióticos en carne de pollo fresca. Abu-Tarboush *et al*. (1997) reportaron que 2.5 kGy destruyó eficazmente *Salmonella* en carne de pollo. Kudra *et al*. (2011) observaron una reducción de aproximadamente 3 logs al aplicar 1.5 kGy en carne de pollo deshuesada. En muestras de camarones, calamares y almejas a una dosis de 5 kGy dio como resultado la reducción de 6.85×10^8 UFC/g de *S.* Typhimurium (Siravati *et al*., 2024). Sedeh *et al*. (2007) determinaron la dosis de 3 kGy como la más apropiada para eliminar *Salmonella* de la carne roja. Bard (2004) uso 3 kGy de radiación gamma para eliminar *Salmonella* de la carne de conejo. Kundu *et al*. (2014) eliminaron hasta niveles seguros diferentes serotipos *E. coli* STEC y serotipos de *Salmonella* con dosis de 1 kGy aplicada a trozos de carne de vacuno de grosor aproximadamente uniforme (1.2 cm). Una dosis de 1 kGy también redujo 5 log UFC/g de *E. coli* productora de toxina shiga en carne de res molida (Cap *et al*., 2021).

La diferencia de la dosis que se aplica entre matrices, incluida la carne de cuy, también está relacionada con la forma y grosor de la carcasa o pieza cárnica que se esté higienizando (Lucas *et al*., 2023a). Así, en productos de gran grosor, como piernas de cerdo procesadas para jamón curado, que puede tener hasta 8-12 cm de grosor, una dosis de 2 kGy, es suficiente para higienizar el producto (Lucas *et al*., 2020, 2021ab). Sin embargo, cuando se higienizó el mismo producto, pero con un grosor menor a 8 cm, fue

suficiente aplicar solo 1 kGy (Lucas *et al*., 2023b). El tamaño de la carcasa del cuy suele tener un grosor de pocos centímetros. Además, la radiación gamma elimina los microorganismos más eficientemente y tiene una excelente penetración en los productos alimenticios, lo que garantiza la penetración del tratamiento incluso en grandes volúmenes (Farkas, 2006; Tahergorabi *et al*., 2014). En general, la dosis de 1 kGy de radiación gamma es considerada como una irradiación a baja dosis, altamente efectiva para la inactivación de *Salmonella* spp. (Thayer *et al*., 1995; Roberts, 2014; IAEA, 2015; Indiarto *et al*., 2023).

En el presente estudio, la resistencia antimicrobiana a aminoglucósidos (amikacina y estreptomicina) que presentó uno de los aislados de *S*. Typhimurium usados no alteró su radioresistencia. Mientras que ciertos mecanismos de resistencia a antibióticos pueden modificar sistemas de reparación del ADN o síntesis de ácidos nucleicos, afectando indirectamente la sensibilidad a la radiación (Niemira, 2005; Skowron *et al*., 2018), la resistencia a aminoglucósidos se asocia principalmente a modificaciones enzimáticas y mutaciones ribosomales que no confieren la capacidad para reparar daños genómicos o eliminar especies reactivas de oxígeno inducidas por la irradiación (Slade y Radman, 2011; Zhang *et al*., 2024). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Niemira *et al*. (2006), sugiriendo que la eficacia de la irradiación como medida de higienización se mantiene independiente del perfil de sensibilidad antibiótica de estas cepas.

El estudio de mapeo de dosis confirmo esta buena penetración de la radiación gamma en la carcasa del cuy. El índice de uniformidad de dosis o D_{max}/D_{min} obtenida tras el tratamiento con 1 kGy estuvo en el rango de 1-1.18, menor al límite máximo de 1.5, por lo que se considera apropiado en irradiación de alimentos según IAEA (2004) e ISO/ASTM 51261:2013, y cercano al valor de 1 considerado como el ideal. Además, esta uniformidad de dosis repercute en la cinética de destrucción microbiana, reflejada en el valor *D*, pues se ha descrito que una buena distribución de dosis se relaciona con la eliminación eficaz de los patógenos en el producto alimenticio (Kozlova *et al*., 2024). En todos los casos, la dosis absorbida fue siempre superior a 0.79 kGy, necesarios para alcanzar el FSO respecto a *Salmonella* en carne de cuy.

En los 90s, Katta *et al*. (1991) demostraron que una dosis de 2 kGy de radiación gamma era suficiente para higienizar la carcasa entera de pollo, reportando una variación en la

dosis absorbida del 7%, mayor a la reportada en este estudio (1% para 1 kGy, 6% para 2 kGy). Maxim *et al*. (2014) irradiaron carcasas de conejo y realizaron un mapeo de dosis con dosímetros distribuidos en toda la canal, obteniendo una uniformidad de dosis de 1.8 que consideraron como aceptable y consiguiendo una reducción de *Escherichia coli* O157:H7 de más de 5 logs. De igual forma, Kozlova *et al*. (2024) utilizaron dosímetros para mapear la distribución de la dosis en los trozos de carne, consiguiendo una uniformidad cercana a 1. Como se describió anteriormente, el menor tamaño de la carcasa de cuy favoreció la correcta distribución de la dosis absorbida, lo que condujo a una mejor uniformidad de dosis comparado con carcasas de pollo o conejo.

En general, los resultados de este estudio se suman a otros que usan diversos tipos de carne en los que también se ha empleado con éxito la irradiación gamma para reducir la contaminación microbiana, incluida la carne de vacuno (Asghar *et al*., 2023; Sadakuzzaman *et al*., 2021), cerdo (Dutra *et al*., 2016; Silva *et al*., 2020), camello (Al-Bachir y Zeinou 2009), pollo (Abdel-Khalek, El-Aziz e Ibrahim 2022; Pelicia *et al*., 2015), avestruz (Khalid *et al*., 2021) y pavo (Jouki, 2013).

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, la humedad y el pH no se vieron afectados por el tratamiento. Aunque la irradiación induce radiólisis del agua, las especies reactivas generadas presentan una vida media muy corta de nanosegundos (Edge y Truscott, 2021; Jay-Gerin, 2025) y son rápidamente neutralizadas por los componentes antioxidantes naturales (glutatión, carnosina, anserina) y la estructura de la matriz cárnica (proteínas, péptidos, aminoácidos, lípidos, etc.) (Badr, 2007; Kulczyński *et al*., 2019; Kim *et al*., 2024). Además, el impacto sobre las estructuras irradiadas depende principalmente de la dosis aplicada. Por ello, tras aplicar las bajas dosis tecnológicas empleadas con fines sanitarios (≤3 kGy), no se observan diferencias significativas entre el pH y humedad de muestras irradiadas y no irradiadas (Hashim *et al*., 2024).

El pH es un indicador universal de calidad de la carne que se relaciona directamente con su conservación, un pH ligeramente ácido puede obstaculizar la velocidad de crecimiento microbiano, la cual es óptima a un pH neutro o ligeramente alcalino (Nakandakari *et al*., 2014; Lucas *et al*., 2017, 2018). Según Nakandakari *et al*. (2014), el pH del cuy es de 5.9 y 6 tras 12 h y 24 h post mortem. El pH es de 6.45 y 5.9 en estos mismos periodos, en cuyes sacrificados en condiciones de bienestar animal deficientes en Huancayo (Lucas *et*

al., 2018). Cárdenas *et al*. (2018), tras 4 horas del sacrificio, reportaron que el pH de la carne fue de 5.6-6. Similarmente, Tandzong *et al*. (2015) y Herrera *et al*. (2022) reportaron un pH de 6 - 5.9 en carcasas deshuesadas. Asimismo, Mota-Rojas *et al*. (2012) reportaron valores de 5.9 - 6.2 en carcasas obtenidas con y sin insensibilización eléctrica.

Los valores de pH descritos en el presente estudio fueron similares a los descritos por Lucas *et al*. (2018) tras 24 h postmortem, tanto en muestras irradiadas como control. El pH de la carne está determinado principalmente por el contenido de ácido láctico y la descomposición de glucógeno post-mortem y la irradiación no altera estos procesos ni genera productos ácidos o básicos en cantidades suficientes para modificar el pH (Hashim *et al*., 2024). Diversos estudios han demostrado que la radiación gamma incluso a dosis altas, no afecta el pH de diferentes tipos de carne y productos cárnicos. Por ejemplo, Mohamed y El-Deen (2016), Sales *et al*. (2020) y Sadakuzzaman *et al*. (2021, 2024) indicaron que la exposición de la carne de res fresca y de productos como albóndigas, a dosis de hasta 9 kGy de radiación gamma no tuvo ningún impacto significativo en los valores del pH. Similares conclusiones han sido reportadas por Ham *et al*. (2017) y Hariyadi *et al*. (2023) quienes aplicaron 10 kGy a productos cárnicos (hamburguesas de res y embutidos de cerdo), y a carne de pollo, respectivamente. Incluso el metaanálisis de Asmarani *et al*. (2024) no determina efecto sobre el pH de la carne de pollo. Salari y Khatami (2025) aplicaron 5 kGy a la carne de pavo sin evidenciar efecto sobre el pH. Tampoco Al-Bachir y Zeinou (2009) y Al-Bachir y Zeinou (2014) en carne de camello y cabra, respectivamente, aplicando dosis de hasta 6 kGy. Otros aspectos como la temperatura de almacenamiento, actividad microbiana, descomposición y rancidez, si tendrían efecto sobre el pH de la carne irradiada (Hashim *et al*., 2024).

Numerosos estudios muestran resultados contradictorios respecto al efecto de la irradiación sobre la humedad de la carne, pero en general coinciden en que dicho efecto se puede evidenciar de manera significativa a dosis ≥2 kGy. Por ejemplo, Uazhanova *et al*. (2025) reportaron la disminución de la humedad en muestras de carne de pollo irradiadas, incluso tras la aplicación de 2, 4, 6 y 8 kGy, mostrando reducciones de aproximadamente 1.1%, 1.2%, 2.1% y 2.5%, respectivamente, respecto a las muestras no irradiadas. Nurdaulet *et al*. (2024) evidenció efecto en la humedad de la carne de pollo, pero irradiada a dosis de 8 kGy. También se ha descrito una reducción del 2–4 % en el contenido de humedad en carne de vacuno (Sadakuzzaman *et al*., 2021), cordero (Hashem

et al., 2022) y pollo (Islam *et al*., 2019; Rima *et al*., 2019) tratados con radiación gamma, en comparación con sus respectivos controles no tratados. Sin embargo, Al-Bachir y Zeinou (2009, 2014) no encontraron efecto de la irradiación sobre la humedad en carne de camello y cabra con dosis de radiación gamma de hasta 6 kGy. Hashem *et al*. (2022) no reportaron diferencias significativas en el contenido de humedad de la carne de cordero inmediatamente después de aplicar dosis de hasta 4 kGy de radiación gamma.

La reducción de la humedad en carne irradiada está relacionada a la disminución de la capacidad de retención de agua y al aumento de la exudación (Rodrigues *et al*., 2022; Nurdaulet *et al*., 2024). Hashim *et al*. (2024) sugieren que la irradiación puede afectar las enzimas endógenas (implicadas en glucólisis, proteólisis y lipólisis post mortem), resultando en menor producción de metabolitos osmóticamente activos que se relacionan con la retención de agua. Estos mismos autores también mencionan que la irradiación favorecería la oxidación de proteínas miofibrilares y con ello la migración del agua hacia el exterior y su pérdida como exudado. Ambos mecanismos no implican evaporación directa del agua. Asimismo, Asmarani *et al*. (2024) señala que la irradiación a altas dosis afecta la capacidad de hidratación de la fracción proteica de la carne, atribuido a la desnaturalización proteica con liberación del contenido de agua en forma de goteo.

En el presente estudio no se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad entre las muestras de carne de cuy no tratadas e irradiadas hasta una dosis de 2 kGy. Este comportamiento podría atribuirse principalmente a las bajas dosis de irradiación aplicadas, las cuales no inducirían modificaciones estructurales de magnitud suficiente para afectar significativamente la humedad. Si bien se ha descrito que la irradiación puede provocar desnaturalización parcial de las proteínas miofibrilares, favoreciendo la transición del agua desde un estado inmovilizado hacia una fracción más libre, también es posible que se produzca el efecto inverso, es decir, una redistribución del agua libre hacia estados más fuertemente asociados a la matriz proteica; En este contexto, incluso cambios conformacionales leves en las proteínas podrían exponer o generar nuevos sitios hidrofílicos, contribuyendo a la estabilización del agua dentro del sistema cárnico (Bai *et al*., 2024; Kim *et al*., 2024). Es decir, la irradiación a bajas dosis afectaría principalmente la estabilidad estructural de las proteínas y la distribución del agua, más que el contenido total de humedad.

En el presente estudio se determinó una mayor pérdida de agua a la cocción en las muestras irradiadas. Como se mencionó anteriormente, la irradiación puede inducir modificaciones estructurales en las proteínas musculares como consecuencia de los radicales libres generados por la radiólisis del agua, favoreciendo la desnaturalización proteica, la degradación de colágeno y la redistribución del agua en el músculo, lo que se asocia con un mayor exudado (Sales *et al*., 2020; Hashem *et al*., 2022). Si bien estos cambios estructurales no se reflejaron en diferencias significativas en el contenido de humedad, la irradiación parece haber debilitado la red proteica, ya que se produce un mayor exudado de agua tras un estrés térmico, como la cocción. Durante la cocción de la carne, ocurre una contracción de las fibras musculares y la liberación de agua inmovilizada (Bouhrara *et al*., 2011), fenómeno que se acentúa en la carne irradiada debido a que la estructura proteica esta previamente alterada por este tratamiento. Estudios previos muestran que la pérdida por cocción aumenta significativamente con dosis crecientes de irradiación, por ejemplo, en carne de res y pollo, donde la pérdida por cocción puede incrementarse entre 1-3% respecto a controles no irradiados (Rima *et al*., 2019; Rodrigues *et al*., 2019, 2022).

Las pérdidas por cocción reflejan una menor capacidad de retención de agua, definida como la habilidad del tejido muscular para retener el agua intrínseca frente a cambios mecánicos y térmicos (Tornberg, 2013), lo que implica menor rendimiento del producto tras el procesamiento térmico, con potencial afectación de la funcionalidad de la carne en aplicaciones industriales (Leal-Gutiérrez *et al*., 2015; Soto-Simental *et al*., 2016). No obstante, la evaluación del impacto real de esta mayor merma por cocción a nivel tecnológico e industrial requiere el desarrollo futuro de estudios específicos.

Esta mayor perdida por cocción de las muestras irradiadas no generó un cambio textural que pueda ser percibido al análisis sensorial. Esto podría estar relacionado con la baja dosis de tratamiento empleada, la cual no induciría modificaciones sensoriales de magnitud suficiente como para ser detectadas significativamente en las pruebas sensoriales. Además, durante la cocción, la solubilización parcial del colágeno suele compensar la pérdida de jugosidad, manteniendo una sensación de terneza (Wang *et al*., 2021). De hecho, se ha descrito que los tratamientos de irradiación a baja dosis pueden mejorar la textura de los alimentos tratados (Indiarto *et al*., 2023)

Se ha descrito que la irradiación puede tener un impacto negativo en la calidad sensorial de los alimentos, principalmente como resultado de las transformaciones químicas de sus componentes que ocasionan los radicales libres que se producen por la radiólisis del agua (Brewer, 2009). Estos radicales generan la oxidación lipídica y de aminoácidos, lo que conduce a la formación de compuestos volátiles con impacto negativo en el sabor y olor del producto (Brewer, 2009; Du *et al*., 2002; Huang *et al*., 2023). Sin embargo, estos efectos se pueden evidenciar solo a grandes dosis, especialmente notorias a 10 kGy (Hashim *et al*., 2024).

Numerosos estudios reportan que la aplicación de radiación gamma no afecta el aspecto, color, textura, olor, sabor ni la aceptabilidad general de la carne de cordero (Hashem *et al*., 2022), cabra (Modi *et al*. 2008; Al-Bachir y Zeinou, 2014), vacuno (Mohamed y El-Deen 2016; Purwati 2015; Sadakuzzaman *et al*. 2021), camello (Al-Bachir y Zeinou 2009; Fallah *et al*., 2010), pollo (Abdel-Khalek *et al*., 2022; Arshad *et al*. 2019) y avestruz (Khalid *et al*. 2021), usando dosis de 4 kGy, 4-6 kGy, 3-7 kGy, 3-6 kGy, 2 kGy y 3 kGy, respectivamente. Arshad *et al*. (2019) reportaron puntuaciones más altas de los atributos sensoriales de muestras de pollo tratadas con 2 kGy comparadas con los no irradiados. Por el contrario, Uazhanova *et al*. (2025) reportaron que dosis ≥ 4 kGy provocaron un deterioro progresivo de los atributos sensoriales de la carne de pollo. Huang *et al*. (2023) reportaron que la irradiación a una dosis de 2 kGy no afectó significativamente las características sensoriales de pechugas de pollo ahumadas; sin embargo, dosis de 3, 4 y 6 kGy se asociaron con una disminución en el nivel de agrado de dichas características.

En el presente estudio, la prueba sensorial de ordenación permitió a los jueces detectar diferencias en el atributo olor entre las muestras irradiadas a 2 kGy y las muestras no irradiadas, indicativo de la presencia de cambios sensoriales sutiles atribuibles al tratamiento de irradiación. No obstante, la ausencia de diferencias significativas en la prueba hedónica sugiere que dichas variaciones no fueron lo suficientemente intensas ni negativas como para influir en la aceptación o nivel de agrado de los evaluadores. La prueba de ordenación está diseñada exclusivamente para discriminar diferencias sutiles perceptibles entre muestras, independientemente de su nivel de agrado, preferencia o aceptación, ya que no cuantifica la magnitud de la diferencia, solo el orden relativo (Lawless y Heymann, 2010; Meilgaard, 2020). Por el contrario, la prueba hedónica evalúa la aceptación de los panelistas, respuesta que suele requerir cambios sensoriales de mayor

magnitud para manifestarse estadísticamente (Kemp *et al*., 2009; Lawless y Heymann, 2010). En este sentido, la irradiación a 2 kGy podría inducir modificaciones en compuestos volátiles responsables del olor, perceptibles a nivel discriminativo, pero sin comprometer la aceptabilidad sensorial del producto.

VI. CONCLUSIONES

El tratamiento de irradiación gamma a dosis de 1 kGy fue suficiente para alcanzar el objetivo de seguridad alimentaria respecto a *Salmonella* en carne de cuy (ausencia en 25 g), sin afectar el pH ni la humedad del producto, con cambios significativos en la perdida de agua por cocción, pero sin efectos adversos sobre sus características sensoriales.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios complementarios que evalúen el impacto de la perdida por cocción a nivel tecnológico e industrial.
- Evaluar la radioresistencia de otros microorganismos patógenos presentes en la carne de cuy.
- Evaluar el efecto de la irradiación gamma sobre el tiempo de vida útil de la carne de cuy.
- Evaluar el efecto del tratamiento con irradiación sobre la oxidación lipídica en la carne de cuy.
- Sensibilizar a la industria cárnica sobre la alternativa de higienización usando radiación gamma en el Perú.

VIII. LITERATURA CITADA

1. ***Abdel-Khalek HH, Abd El-Aziz AB, Ibrahim S. 2022***. Safety achievement and shelf-life prolongation of poultry breast meats by polylactic acid active packaging and gamma-irradiation. International Food Research Journal 29(5): 1053-1066. https://doi.org/10.47836/ifrj.29.5.08
2. **Abrera GB, Sagum RS, Diano GT, Pares FO, Feliciano CP. 2021**. Radiation sensitivity and inactivation of antibiotic-resistant *Salmonella* spp. in fresh chicken legs. Radiation Physics and Chemistry 187:109532. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109532
3. ***Abu-Tarboush HM, Al-Kahtani HA, Atia M, Abou-Arab AA, Bajaber AS, El-Mojaddid MA. 1997***. Sensory and microbial quality of chicken as affected by irradiation and postirradiation storage at 4.0 C. Journal of Food Protection 60(7): 761-770. https://doi.org/10.4315/0362-028X-60.7.761
4. ***Ahn D, Lee E, Mendonca A. 2018.*** Meat decontamination by irradiation. En: Toldrá F, Nollet LM, eds. Advanced technologies for meat processing. 2ª ed. Boca Raton USA: CRC Press. p 197-226.
5. ***Al-Bachir M, Zeinou R. 2009***. Effect of gamma irradiation on microbial load and quality characteristics of minced camel meat. Meat science 82(1): 119-124. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.12.012
6. ***Al-Bachir M, Zeinou R. 2014***. Effect of gamma irradiation on the microbial load, chemical and sensory properties of goat meat. Acta Alimentaria 43(2): 264-272. https://doi.org/10.1556/aalim.43.2014.2.10
7. ***Aleksandrowicz A, Carolak E, Dutkiewicz A, Błachut A, Waszczuk W, Grzymajlo K. 2023.*** Better together–*Salmonella* biofilm-associated antibiotic resistance. Gut Microbes 15(1). https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2229937
8. ***Aliaga ADP, Gómez CA. 2020.*** Comportamiento productivo de cuyes (Cavia porcellus) en crecimiento sometidos a diferentes niveles de selenio dietario. Rev Inv Vet Perú 31(3): e18179. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18179
9. ***Álvarez S. 2014.*** Situación actual y perspectivas de la exportación de carne de cuy. Trabajo para optar al título de ingeniero zootecnista. Lima: Universidad Agraria La Molina. 45 p.
10. ***Álvarez-Ordóñez A, Begley M, Prieto M, Messens W, López M, Bernardo A, Hill C. 2011.*** *Salmonella* spp. survival strategies within the host gastrointestinal tract. Microbiology 157(12): 3268-3281. https://doi.org/10.1099/mic.0.050351-0
11. ***Angulo FJ, Mølbak K. 2005.*** Human health consequences of antimicrobial drug—resistant *Salmonella* and other foodborne pathogens. Clin Infect Dis 41(11): 1613-1620. https://doi.org/10.1086/497599
12. ***Angulo-Tisoc J, Jara L, Pacheco J, Pezo D. 2021.*** Frecuencia de agentes bacterianos asociados a mortalidad en cuyes de centros de crianza familiar-comercial en Canchis, Cusco. Rev Inv Vet Perú 32(3): e20415. https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20415
13. ***AOAC. 2000***. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Assoc. Off. Anal. Chem.; Gaithersburg, MD: 2000.
14. ***Arguello H, Álvarez-Ordoñtez A, Carvajal A, Rubio P, Prieto M. 2013.*** Role of slaughtering in *Salmonella* spreading and control in pork production. J Food Prot 76(5): 899-911. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-404
15. ***Arshad MS, Amjad Z, Yasin M, Saeed F, Imran A, Sohaib M, Anjum F, Hussain, S. 2019***. Quality and stability evaluation of chicken meat treated with gamma irradiation and turmeric powder. International Journal of Food Properties 22(1): 154-172. https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1575395
16. ***Arshad MS, Kwon JH, Ahmad RS, Ameer K, Ahmad S, Jo Y. 2020.*** Influence of E-beam irradiation on microbiological and physicochemical properties and fatty acid profile of frozen duck meat. Food Sci Nutr 8(2):1020-1029. https://doi.org/10.1002/fsn3.1386
17. ***Asghar Z, Arshad MS, Khalid W, Saeed F, Imran A, Suleria HAR. 2023***. Impact of gamma irradiation and poppy seed extract on quality and storage stability of beef patties.

International Journal of Food Properties 26(1):1645-1662. https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2228512
18. ***Asmarani R, Ujilestari T, Sholikin M, Wulandari W, Damayanti E, Anwar M, Aditya S, Karimy M, Wahono S, Triyannanto E, Adli D, Sujarwanta R, Wahyono T. 2024***. Meta-analysis of the effects of gamma irradiation on chicken meat and meat product quality. Veterinary World 17:1084-1097. https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1084-1097
19. ***Avilés DF, Martínez AM, Landi V, Delgado JV. 2014.*** The guinea pig (*Cavia porcellus*): an Andean resource of interest as an agricultural food source. Anim Genet Resour 55: 87-91. https://doi.org/10.1017/S2078633614000368
20. ***Baccaro S, Bal O, Cemmi A, Di Sarcina I. 2018***. The effect of gamma irradiation on rice protein aqueous solution. Radiation Physics and Chemistry 146:1-4.
21. ***Badr H. 2007***. Antioxidative activity of carnosine in gamma irradiated ground beef and beef patties. Food Chemistry 104: 665-679. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.015
22. ***Badr HM. 2004***. Use of irradiation to control foodborne pathogens and extend the refrigerated market life of rabbit meat. Meat Sci 67(4):541-8. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.018
23. ***Bai R, Han J, Ye X, Yu J, Jiang S, Li Z, Zhang L, Yang C, Chen Y, Wang S, Ding W. 2024***. Improvement on gel properties of chicken myofibrillar protein with electron beam irradiation: Based on protein structure, gel quality, water state. International journal of biological macromolecules 135806. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135806
24. ***Bhunia AK. 2018.*** Foodborne microbial pathogens: mechanisms and pathogenesis. 2ª ed. New York USA: Springer. 365 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1_15
25. ***Bouhrara M, Clerjon S, Damez J, Chevarin C, Portanguen S, Kondjoyan A, Bonny J. 2011***. Dynamic MRI and thermal simulation to interpret deformation and water transfer in meat during heating. Journal of agricultural and food chemistry 59:1229-35. https://doi.org/10.1021/jf103384d
26. ***Bravo-Blas A, Utriainen L, Clay SL, Kästele V, Cerovic V, Cunningham AF, Milling SW. 2019.*** *Salmonella* enterica serovar typhimurium travels to mesenteric lymph nodes both with host cells and autonomously. J Immunol 202(1): 260-267. https://doi.org/10.4049/jimmunol.1701254
27. ***Breidbach A, Ulberth F. 2016.*** Comparative evaluation of methods for the detection of 2-alkylcyclobutanones as indicators for irradiation treatment of cashew nuts and nutmeg. Food Chem 201: 52-58.
28. ***Brewer MS. 2009.*** Irradiation effects on meat flavor: A review. Meat science 81(1): 1-14. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.011
29. ***Bulcha B, Kinati G. 2024***. Salmonellosis as a global foodborne pathogen: a review. Int J Livest Res 14(1): 8–20.
30. ***Burgess CM, Gianotti A, Gruzdev N, Holah J, Knøchel S, Lehner A, Tresse O. 2016.*** The response of foodborne pathogens to osmotic and desiccation stresses in the food chain. Int J Food Microbiol 221: 37-53. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.014
31. ***Cap M, Lires C, Cingolani C, Mozgovoj M, Soteras T, Gentiluomo J, Principe F, Sucari A, Horak C, Signorini M, Vaudagna SR, Leotta G. 2021***. Identification of the gamma irradiation dose applied to ground beef that reduces Shiga toxin producing Escherichia coli but has no impact on consumer acceptance. Meat Sci 174:108414. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108414
32. ***Cárdenas LA, Sarmiento VH, Ramos R. 2018.*** Características productivas y tecnológicas de la carne de cuy (Cavia porcellus) utilizando dietas basadas en pisonay (Erythrina sp). Rev Investig Altoandin 20(4): 451-460. http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.422
33. ***Carhuaricra DE, Luna LR, Rodríguez CL, Duran CG, Rosadio RH, Setubal JC, Maturrano L. 2022.*** Genomic characterization of *Salmonella* Typhimurium isolated from guinea pigs with salmonellosis in Lima, Peru. Microorganisms 10(9): 1726. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091726
34. ***Carreño I. 2018.*** International standards and regulation on food irradiation. En: Ferreira I, Antonio A, Cabo Verde S, eds. Food irradiation technologies: concepts, applications and outcomes. Cambridge UK: The Royal Society of Chemistry. p 5-27.

35. ***Castell-Perez ME, Moreira RG. 2020.*** Irradiation and consumers acceptance. En: Knoerzer K, Muthukumarappan K, eds. Innovative food processing technologies. Oxford UK: Elsevier. p 122-135.
36. ***Cayro M. 2013.*** Evaluación microbiológica de carcasas de cuy (Cavia porcellus) para determinar su contaminación frente a *Salmonella* spp. en los centros de expendio de alimentos: A, B, C, D y E, Arequipa 2013. Tesis para optar al título profesional de Médico Veterinario y Zootecnista. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. 85 p.
37. ***Cedano-Castro JI, Jiménez R, Huamán A, Gutiérrez Reynoso G, Wurzinger M. 2023.*** Farmers' perceptions and acceptance of crossbred guinea pigs in Mantaro Valley, Peru. Trop Anim Health Prod 55(2): 75. https://doi.org/10.1007/s11250-023-03465-y
38. ***[CAC] Codex Alimentarius Commission. 2003.*** General standard for irradiated foods (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003). Codex Alimentarius. Roma: FAO/WHO.
39. ***[CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2019.*** Antibiotic resistance threats in the United States. [Internet], [17 enero 2023]. Disponible en: https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf
40. ***[CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2023.*** *Salmonella*. [Internet], [19 junio 2023]. Disponible en: https://www.cdc.gov/*Salmonella*/index.html
41. ***Chatterjee R, Chowdhury AR, Mukherjee D, Chakravortty D. 2023.*** From *Eberthella typhi* to *Salmonella Typhi*: The fascinating journey of the virulence and pathogenicity of *Salmonella Typhi*. ACS Omega 8(29): 25674–25697. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02386
42. ***Chauca L. 1997.*** Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 138. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
43. ***Chauca L. 2022.*** Desarrollo del mejoramiento genético en cuyes en el Perú: Formación de nuevas razas. Anales Científicos 83(2): 109-125. http://dx.doi.org/10.21704/ac.v83i2.1879
44. ***Chero A, Rosadio R, Marcelo G, Díaz G, Jiménez R, Castro Y, Maturrano L. 2017.*** Identificación molecular de *Salmonella Typhimurium* en cuyes al primer parto mediante la técnica de PCR múltiple. Rev Investig Vet Perú 28(3): 679-686. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28.i3.13288
45. ***Christensen ZT, Ogden LV, Dunn ML, Eggett DL. 2006***. Multi ple comparison procedures for analysis of ranked data. Journal of Food Science, 71(2), S132–S143. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621. 2006.tb08916.x
46. ***Chung MS, Ko YT, Kim WS. 2000***. Survival of Pseudomonas fluorescens and *Salmonella* typhimurium after electron beam and gamma irradiation of refrigerated beef. Journal of food protection 63(2):162-166. https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.2.162
47. ***Clemmons HE, Clemmons EJ, Brown EJ. 2015.*** Electron beam processing technology for food processing. En: Pillai SD, Shayanfar S, eds. Electron beam pasteurization and complementary food processing technologies. Oxford UK: Woodhead Publishing. p 11-25.
48. ***Crump JA, Luby SP, Mintz ED. 2004.*** The global burden of typhoid fever. Bull World Health Organ 82(5): 346-353.
49. ***Dantas STA, Rossi BF, Bonsaglia ECR, et al. 2018***. Cross-Contamination and biofilm formation by *Salmonella* enterica Serovar Enteritidis on various cutting boards. Foodborne Pathog Dis 15(2):81-85. https://doi.org/10.1089/fpd.2017.2341
50. ***Dantas ST, Camargo CH, Tiba-Casas MR, Vivian RC, Pinto JP, Pantoja JC, Rall VL. 2020.*** Environmental persistence and virulence of *Salmonella* spp. isolated from a poultry slaughterhouse. Food Res Int 129: 108835. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108835
51. ***De Cesare A. 2018.*** *Salmonella* in foods: a reemerging problem. Adv Food Nutr Res 86: 137-179. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.02.007
52. ***De Oliveira DCV, Fernandes Junior A, Kaneno R, Silva MG, Araujo Junior JP, Silva NCC, Rall VLM. 2014.*** Ability of *Salmonella* spp. to produce biofilm is dependent on temperature and surface material. Foodborne Pathog Dis 11(6): 478-483. https://doi.org/10.1089/fpd.2013.1710
53. ***deFrance SD. 2021.*** Guinea pigs in the Spanish Colonial Andes: Culinary and ritual transformations. Int J Histor Archaeol 25: 116–143. https://doi.org/10.1007/s10761-020-00548-6

54. ***Di Domenico EG, Cavallo I, Pontone M, Toma L, Ensoli F. 2017.*** Biofilm producing *Salmonella Typhi*: Chronic colonization and development of gallbladder cancer. Int J Mol Sci 18(9): 1887. https://doi.org/10.3390/ijms18091887
55. ***Diehl JF. 2002.*** Food irradiation—past, present and future. Radiat Phys Chem 63: 211-215.
56. ***Dos Santos AMP, Ferrari RG, Conte-Junior CA. 2020.*** Type three secretion system in *Salmonella Typhimurium*: the key to infection. Genes Genom 42: 495–506. https://doi.org/10.1007/s13258-020-00918-8
57. ***Duran C. 2023.*** Evaluación de factores de virulencia de cepas de *Salmonella* spp. aisladas de cuyes (*Cavia porcellus*) enfermos y sanos. Tesis para optar al título profesional de Médico Veterinario. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 56 p.
58. ***Dutra MP, de Cássia Aleixo G, Ramos ADLS, Silva MHL, Pereira MT, Piccoli RH, Ramos EM. 2016***. Use of gamma radiation on control of Clostridium botulinum in mortadella formulated with different nitrite levels. Radiation Physics and Chemistry 119:125-129. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.10.008
59. ***Edge R, Truscott T. 2021***. The reactive oxygen species singlet oxygen, hydroxy radicals, and the superoxide radical anion—examples of their roles in biology and medicine. Oxygen 1: 77-95. https://doi.org/10.3390/oxygen1020009
60. ***[EFSA/ECDC] European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control. 2024.*** The European Union one health 2023 zoonoses report. EFSA J 22(12): e9106. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106
61. ***[EFSA] European Food Safety Authority. 2011.*** Scientific opinion on the efficacy and microbiological safety of irradiation of food. EFSA J 9: 2103.
62. ***[EPA]* Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. *2024***. Información básica sobre la irradiación. [Internet], [28 enero 2025]. Disponible en: https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion
63. ***Ehlermann DAE. 2016.*** The early history of food irradiation. Radiat Phys Chem 129: 10-12.
64. ***Ehuwa O, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2021.*** *Salmonella*, food safety and food handling practices. Foods 10(5): 907. https://doi.org/10.3390/foods10050907
65. ***Eng SK, Pusparajah P, Ab Mutalib NS, Ser H, Chan KG, Lee LH. 2015.*** *Salmonella*: A review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance. Front Life Sci 8(3): 284–293. https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1051243
66. ***Espinoza B, Liberato S, Ñahuirima C. 2020***. Exportación de carne de cuy envasado al vacío. Tesis para optar al grado de Bachiller en Administración de Negocios Internacionales. Lima: Universidad Científica del Sur. https://doi.org/10.21142/tb.2020.1184
67. ***Espinoza MT, Carhuaricra D, Maturrano ALH, Rosadio RA, Luna LE. 2023***. Efecto de la administración oral de estreptomicina en la mortalidad de cuyes inoculados con una cepa virulenta de *Salmonella* Typhimurium. Rev Inv Vet Perú 34(1): e24592. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v34i1.24592
68. ***Fallah AA, Tajik H, Farshid AA. 2010***. Chemical quality, sensory attributes and ultrastructural changes of gamma-irradiated camel meat. Journal of Muscle Foods 21(3): 597-613. https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2009.00207.x
69. ***Fan X. 2013***. Radiation Chemistry of Food Components. En: Fan X, Sommers CH (eds.) Food Irradiation Research and Technology. West Sussex (UK), pp.75-98.
70. ***Farkas J, Mohácsi-Farkas C. 2011***. History and future of food irradiation. Trends Food Sci Technol 22:121-126.
71. ***Farkas J. 2006***. Irradiation for better foods. Trends Food Sci Technol 17:148-152.
72. ***Fatica MK, Schneider KR. 2011***. *Salmonella* and produce: survival in the plant environment and implications in food safety. Virulence 2(6):573-579.
73. ***Feasey NA, Dougan G, Kingsley RA, Heyderman RS, Gordon MA. 2012***. Invasive non-typhoidal *Salmonella* disease: an emerging and neglected tropical disease in Africa. Lancet 379(9835):2489-2499. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61752-2

74. ***Feliciano CP, De Guzman ZM, Tolentino LMM, Cobar MLC, Abrera GB. 2014***. Radiation-treated ready-to-eat (RTE) chicken breast Adobo for immuno-compromised patients. Food Chemistry 163:142-146.
75. ***Flores LM, Moscoso JE, Camero J, Angulo-Tisoc J, Jeri JC, Del Solar JM. 2018***. Momento óptimo de sacrificio comercial de cuyes (Cavia porcellus) criados bajo distintos sistemas de alimentación. Comp Cien Vet 8(1):7-15. https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2018.08.01.07-15
76. ***Galán I, García ML, Selgas MD. 2011.*** Irradiation is useful for manufacturing ready-to-eat cooked meat products enriched with folic acid. Meat Science 87:330-335.
77. ***Galanis E, Lo Fo Wong DM, Patrick ME, Binsztein N, Cieslik A, Chalermchaikit T, Aidara-Kane A, Ellis A, Angulo FJ, Wegener HC. 2006***. Web-based surveillance and global *Salmonella* distribution, 2000–2002. Emerg Infect Dis 12(3):381–388.
78. ***Grădinaru AC, Popa S. 2025***. Cavia porcellus: An overview of its origin, traditional breeding, selected types for meat production and biomedical research. En: Rodrigues A, Fernandes A, Pusta D, eds. Theriogenology - Recent Advances in the Field. London: Intechopen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1006117
79. ***Guibourdenche M, Roggentin P, Mikoleit M, Fields PI, Bockemühl J, Grimont PA, Weill FX. 2010***. Supplement 2003-2007 (No. 47) to the White-Kauffmann-Le Minor scheme. Res Microbiol 161(1):26–29. https://doi.org/10.1016/j.resmic.2009.10.002
80. ***Guillén S, Nadal L, Álvarez I, Mañas P, Cebrián G. 2021.*** Impact of the resistance responses to stress conditions encountered in food and food processing environments on the virulence and growth fitness of non-typhoidal *Salmonellae*. Foods 10(3):617. https://doi.org/10.3390/foods10030617
81. ***Gut AM, Vasiljevic T, Yeager T, Donkor ON. 2018.*** *Salmonella* infection – prevention and treatment by antibiotics and probiotic yeasts: a review. Microbiology 164(11):1327–1344. https://doi.org/10.1099/mic.0.000709
82. ***Ham Y, Kim H, Hwang K, Song D, Kim Y, Choi Y, Song B, Park J, Kim C. 2017***. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. Radiation Physics and Chemistry 130: 259-264. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.09.010
83. ***Hariyadi S, Wahyono T, Firmansyah A, Febrisiantosa A, Triyannanto E, Yusmaman W, Rosyidah A. 2023***. Native vs broiler meat after gamma irradiation treatment: Color and surface image study. BIO Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/bioconf/20238100002
84. ***Harkness JE, Murray KA, Wagner JE. 2022.*** Biology and diseases of guinea pigs. Laboratory Animal Medicine. p 203–246. https://doi.org/10.1016/B978-012263951-7/50009-0
85. ***Hashem MA, Hossain MA, Sadakuzzaman M, Rahman MM, Islam MA. 2022***. Effect of gamma irradiation on the shelf life and quality of mutton. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 10(2):117-124.
86. ***Hashim M, Yusop S, Rahman I. 2024***. The impact of gamma irradiation on the quality of meat and poultry: A review on its immediate and storage effects. Applied Food Research 4: 100444. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100444
87. ***Herrera E, Petrusan JI, Salvá-Ruiz B, Novak A, Cavalcanti K, Aguilar V, Heinz V, Smetana S. 2022.*** Meat quality of guinea pig (*Cavia porcellus*) fed with black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a protein source. Sustainability 14(3):1292. https://doi.org/10.3390/su14031292
88. ***Honikel KO. 1998***. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Sci 49(4):447–457. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5
89. ***Huang M, Zhang M, Bhandari B. 2019.*** Recent development in the application of alternative sterilization technologies to prepared dishes: a review. Crit Rev Food Sci Nutr 59:1188–1196. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1399860
90. **IAEA (2004).** *Training Manual on Food Irradiation Technology and Techniques.* Vienna: International Atomic Energy Agency.

91. ***Ibarra JA, Steele-Mortimer O. 2009.*** *Salmonella* – the ultimate insider. *Salmonella* virulence factors that modulate intracellular survival. Cell Microbiol 11(11):1579–1586. https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2009.01368.x
92. ***ICMSF - International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 2002***. *Listeria monocytogenes* in cooked sausage (frankfurters). En: Tompkin RB, Garam L, Roberts TA, Buchanan RL, Schothorst M, Dahms VS, Cole MB (eds.), Microorganisms in foods 7: Microbiological testing in food safety management. New York: Kluwer Academic Plenum Publishers & Hall. pp. 313−332
93. ***Indiarto R, Irawan AN, Subroto E. 2023***. Meat Irradiation: A Comprehensive Review of Its Impact on Food Quality and Safety. Foods 12(9):1845. https://doi.org/10.3390/foods12091845
94. ***Islam A, Sadakuzzaman M, Hossain MA, Hossain MM, Hashem MA. 2019***. Effect of gamma irradiation on shelf life and quality of indigenous chicken meat: Irradiation on chicken meat. Journal of the Bangladesh Agricultural University 17(4): 560-566.
95. **ISO/ASTM 51261:2013.** *Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.*
96. [***IAEA***] ***International Atomic Energy Agency. 2002.*** Dosimetry for food irradiation: sanitary, phytosanitary and other applications. Technical Reports Series No. 409. Viena.
97. [***IAEA***] ***International Atomic Energy Agency. 2015.*** Manual of good practice in food irradiation: sanitary, phytosanitary and other applications. Technical Reports Series No. 481. Viena.
98. [***ICNIRP***] ***International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. 2020.*** Principles for non-ionizing radiation protection. Health Phys 118:477–482. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001229
99. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015a.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.500. Irradiación de alimentos. Requisitos. INACAL. 17 p.
100. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015b.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.502. Código de prácticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación. INACAL. 19 p.
101. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015c.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.505. Código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos de frutas frescas. INACAL. 16 p.
102. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015d.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.512:2010. Código de buenas prácticas de irradiación para el control de microorganismos patógenos en alimento de aves de corral. INACAL. 16 p.
103. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015e.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.503:2005. Código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos de granos de cereales. INACAL. 14 p.
104. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015f.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.507:2007. Código de buenas prácticas de irradiación para prolongar la vida útil de plátanos, mangos y papayas. INACAL. 14 p.
105. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015g.*** Norma Técnica Peruana NTP 209.506:2007. Código de buenas prácticas de irradiación para la inhibición del brote de bulbos y tubérculos. INACAL. 14 p.
106. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2015h.*** Norma Tecnica Peruana NTP 209.504:2006. Código de buenas prácticas de irradiación para el control de patógenos y otra microflora en especias, hierbas y otros sazonadores vegetales. INACAL. 16 p.
107. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2019a.*** Norma Tecnica Peruana NTP 209.508. Código de buenas prácticas de irradiación para el control de patógenos y/o prolongar la vida útil de carnes de aves y carnes empacadas. INACAL. 14 p.
108. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2019b.*** Norma Tecnica Peruana NTP 209.511:2009. Código de buenas prácticas de irradiación para el control de la microflora en pescado, ancas de rana y camarones. INACAL. 16 p.

109. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2019c.*** Norma Tecnica Peruana NTP 209.509:2008. Código de buenas prácticas de irradiación para la desinfestación de insectos en pescado seco y pescado seco salado. INACAL. 14 p.
110. [***INACAL***] ***Instituto Nacional de Calidad. 2022.*** NTP-ISO 14470:2017. Irradiación de alimentos. Requisitos para el desarrollo, validación y control de rutina de la radiación ionizante utilizada para el tratamiento de alimentos. 2ª ed. INACAL. 38 p.
111. [***INEI***] ***Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2022.*** Microdatos. [Internet], [5 enero 2025]. Disponible en: https://iinei.inei.gob.pe/microdatos/
112. [***INIA***] ***Instituto Nacional de Innovación Agraria. 2020.*** La sistematización de la experiencia de los subproyectos de la cadena del cuy financiados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria a través del Programa Nacional de Innovación Agraria. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 56 p.
113. [***INIA***] ***Instituto Nacional de Innovación Agraria. 2022.*** Resolución Jefatural N° 0101-2022-INIA del 14 de julio del 2022 mediante la cual se aprueba la liberación de la nueva línea de cuy denominada "Línea INKA".
114. ***Jacobsen CS, Bech TB. 2012.*** Soil survival of *Salmonella* and transfer to freshwater and fresh produce. Food Res Int 45(2):557–566. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.026
115. ***Jay JM, Loessner MJ, Golden DA. 2005.*** Modern food microbiology. 2ª ed. Nueva York: Food Science Text Series. 790 p.
116. ***Jay-Gerin J. 2025***. Fundamentals of Water Radiolysis. Encyclopedia 5(1):38. https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010038
117. ***Joanes DN. 1985***. On a rank sum test due to Kramer. Journal of Food Science, 50(5), 1442–1444. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621. 1985.tb10495.x
118. ***Jonas K, Tomenius H, Kader A, et al. 2007.*** Roles of curli, cellulose and BapA in *Salmonella* biofilm morphology studied by atomic force microscopy. BMC Microbiol 7:70. https://doi.org/10.1186/1471-2180-7-70
119. ***Jouki M. 2013***. Evaluation of gamma irradiation and frozen storage on microbial load and physico-chemical quality of turkey breast meat. Radiation Physics and Chemistry 85: 243-245. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.12.009
120. ***Kanatt SR, Chawla SP, Sharma A. 2015.*** Effect of radiation processing on meat tenderisation. Radiat Phys Chem. 111:1-8. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.02.004
121. ***Katta SR, Rao DR, Sunki GR, Chawan CB. 1991***. Effect of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids. Journal of food science 56(2):371-372. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05283.x
122. ***Kemp SE, Hollowood T, Hort J. 2009***. Sensory evaluation: a practical handbook. 1st ed. Singapore: John Wiley & Sons. 196 p.
123. ***Khalid W, Arshad MS, Yasin M, Imran A, Ahmad MH. 2021***. Quality characteristics of gamma irradiation and kale leaf powder treated ostrich and chicken meat during storage. International Journal of Food Properties 24(1): 1335-1348. https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1963274
124. ***Kilcast D. 1994***. Effect of irradiation on vitamins. Food Chemistry 49(2):157-164. https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90152-X
125. ***Kim Y, Cha J, Kim T, Lee J, Jung S, Choi Y. 2024***. The Effect of Irradiation on Meat Products. Food Science of Animal Resources 44:779-789. https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e35
126. ***Kim YK***, ***Roy PK***, ***Ashrafudoulla M***, ***Nahar S***, ***Toushik SH***, ***Hossain MI***, *et al*. ***2022***. Antibiofilm effects of quercetin against *Salmonella enterica* biofilm formation and virulence, stress response, and quorum-sensing gene expression. Food Control 137:108964. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108964
127. ***Kimura BK***, ***LeFebvre MJ***, ***deFrance SD***, ***Knodel HI***, ***Turner MS***, ***Fitzsimmons N***, *et al*. ***2016***. Origin of pre-Columbian guinea pigs from Caribbean archeological sites revealed through genetic analysis. J Archaeol Sci Rep 5:442-452. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.12.012
128. ***Kouakou NDV***, ***Grongnet JF***, ***Assidjo NE***, ***Thys E***, ***Marnet PG***, ***Catheline D***, ***Legrand P***, ***Kouba M***. ***2013***. Effect of a supplementation of *Euphorbia heterophylla* on nutritional meat

quality of guinea pig (*Cavia porcellus* L.). Meat Sci 93(4):821-826. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.036
129. ***Kozlova E, Bliznyuk U, Chernyaev A, Borshchegovskaya P, Braun A, Ipatova V, Zolotov S, Nikitchenko A, et al. 2024***. Optimization function for determining optimal dose range for beef and seed potato irradiation. Foods 13(23):3729. https://doi.org/10.3390/foods13233729
130. ***Krzyżewska-Dudek E***, ***Kotimaa J***, ***Kapczyńska K***, ***Rybka J***, ***Meri S***. ***2022***. Lipopolysaccharides and outer membrane proteins as main structures involved in complement evasion strategies of non-typhoidal *Salmonella* strains. Mol Immunol 150:67-77. https://doi.org/10.1016/j.molimm.2022.08.009
131. ***Kudra LL, Sebranek JG, Dickson JS, Mendonca AF, Zhang Q, Jackson-Davis A, Prusa KJ. 2011***. Control of *Salmonella enterica* Typhimurium in chicken breast meat by irradiation combined with modified atmosphere packaging. Journal of food protection 74(11): 1833-1839.
132. ***Kulczyński B, Sidor A, Gramza-Michałowska A. 2019***. Characteristics of selected antioxidative and bioactive compounds in meat and animal origin products. Antioxidants 8. https://doi.org/10.3390/antiox8090335
133. ***Kundu D, Gill A, Lui C, Goswami N, Holley R. 2014***. Use of low dose e-beam irradiation to reduce *E. coli* O157: H7, non-O157 (VTEC) *E. coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. Meat science 96(1): 413-418. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.034
134. ***Kurtz JR***, ***Goggins JA***, ***McLachlan JB***. ***2017***. *Salmonella* infection: Interplay between the bacteria and host immune system. Immunol Lett 190:42-50. https://doi.org/10.1016/j.imlet.2017.07.006
135. ***Kusumaningrum HD***, ***Riboldi G***, ***Hazeleger WC***, ***Beumer RR***. ***2003***. Survival of foodborne pathogens on stainless steel surfaces and cross-contamination to foods. Int J Food Microbiol 85(3):227-236. https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00540-8
136. ***Lago M***, ***Monteil V***, ***Douche T***, ***Guglielmini J***, ***Criscuolo A***, ***Maufrais C***, ... ***Norel F***. ***2017***. Proteome remodelling by the stress sigma factor RpoS/σS in *Salmonella*: Identification of small proteins and evidence for post-transcriptional regulation. Sci Rep 7(1):2127. https://doi.org/10.1038/s41598-017-02362-3
137. ***Lamichhane B***, ***Mawad AMM***, ***Saleh M***, ***Kelley WG***, ***Harrington PJ II***, ***Lovestad CW***, ***Amezcua J***, ***Sarhan MM***, *et al*. ***2024***. Salmonellosis: An overview of epidemiology, pathogenesis, and innovative approaches to mitigate the antimicrobial resistant infections. Antibiotics (Basel, Switzerland) 13(1):76. https://doi.org/10.3390/antibiotics13010076
138. ***Lammers PJ***, ***Carlson SL***, ***Zdorkowski GA***, ***Honeyman MS***. ***2009***. Reducing food insecurity in developing countries through meat production: The potential of the guinea pig (*Cavia porcellus*). Renew Agr Food Syst 24(2):155-162. https://doi.org/10.1017/S1742170509002543
139. ***Lawless HT, Heyman H. 2010***. Sensory evaluation of food: principles and practices. 2nd ed. New York: Springer Science & Business Media. 596 p.
140. ***Layme A***, ***Perales R***, ***Chavera A***, ***Gavidia C***, ***Calle S***. ***2011***. Lesiones anatomopatológicas en cuyes (*Cavia porcellus*) con diagnóstico bacteriológico de *Salmonella* sp. Rev Inv Vet Perú 22(4):369-376. https://doi.org/10.15381/rivep.v22i4.14513
141. ***Leal-Gutiérrez J, Jiménez-Robayo L, Ariza M, Manrique C, López J, Martínez C, Pinilla Y, Castro S, García N, Bedoya C, Jiménez A. 2015***. Polimorfismos de los genes CAPN1, CAST, DES, PRKAG3 Y RYR1 asociados a la capacidad de retención de agua en crudo y cocinado en carne de bovino en cruces *Bos indicus* y *Bos taurus* en Colombia. Archivos de Zootecnia 64: 29-35. https://doi.org/10.21071/az.v64i245.371
142. ***Lima T***, ***Domingues S***, ***Da Silva GJ***. ***2019***. Plasmid-mediated colistin resistance in *Salmonella enterica*: A review. Microorganisms 7(2):55. https://doi.org/10.3390/microorganisms7020055
143. ***Liu H***, ***Whitehouse CA***, ***Li B***. ***2018***. Presence and persistence of *Salmonella* in water: The impact on microbial quality of water and food safety. Front Public Health 6:159. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00159

144. ***Lord E***, ***Collins C***, ***deFrance S***, *et al*. ***2020***. Ancient DNA of guinea pigs (*Cavia* spp.) indicates a probable new center of domestication and pathways of global distribution. Sci Rep 10(1):8901. https://doi.org/10.1038/s41598-020-65784-6
145. ***Lozano M***, ***Rodríguez-Ulibarri P***, ***Echeverría JC***, ***Beruete M***, ***Sorolla M***, ***Beriain MJ***. ***2017***. Mid-infrared spectroscopy (MIR) for simultaneous determination of fat and protein content in meat of several animal species. Food Anal Methods 10(10):3462-3470. https://doi.org/10.1007/s12161-017-0879-1
146. ***Lucas JR***, ***Balcázar S***, ***Tirado O***, ***Rodríguez A***. ***2017***. El pH de la carne de cobayo (*Cavia porcellus*) procedente del manejo deficiente del bienestar animal durante el sacrificio en la sierra central del Perú. Rev FAVE Cienc Vet 16(2): 70-73. https://doi.org/10.14409/favecv.v16i2.6818
147. ***Lucas JR***, ***Balcázar S***, ***Tirado O***, ***Rodríguez A***. ***2018***. El pH de la carne de cobayo (*Cavia porcellus*) para consumo humano en los andes centrales del Perú. Rev Vet 29(1): 65-67. https://dx.doi.org/10.30972/vet.2912793
148. ***Lucas JR***, ***Selgas MD***, ***García ML***, ***Velasco R***, ***Cabeza MC***. ***2020***. Control of *Listeria monocytogenes* in boned dry-cured ham by E-beam treatment. J Food Saf 40(2):e12757. https://doi.org/10.1111/jfs.12757
149. ***Lucas JR, Alía A, Velasco R, Selgas MD, Cabeza MC. 2021a***. Effect of E-beam treatment on expression of virulence and stress-response genes of Listeria monocytogenes in dry-cured ham. International Journal of Food Microbiology 340:109057. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109057
150. ***Lucas JR, Velasco R, García ML, Selgas MD, Cabeza MC. 2021b***. Effect of sanitizing E-beam treatment on the binding capacity of plasma powder used to manufacture restructured dry-cured ham models. LWT 152:112379. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112379
151. **Lucas JR, Cárcel JA, Velasco R, Benedito J, Cabeza MC. 2023a**. Modelling of the electron range for use of E-beam treatment for boned dry-cured hams sanitation. Innovative Food Science & Emerging Technologies 84:103296. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103296
152. ***Lucas JR, Velasco R, Selgas MD, Cabeza MC. 2023b***. Dry-cured ham thickness is a limiting factor for its sanitization by E-beam treatment. J Consum Prot Food Saf 18:89–92. https://doi.org/10.1007/s00003-022-01410-z
153. ***Majowicz SE***, ***Musto J***, ***Scallan E***, ***Angulo FJ***, ***Kirk M***, ***O'Brien SJ***, ***Jones TF***, ***Fazil A***, ***Hoekstra RM***. ***2010***. The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis. Clin Infect Dis 50(6): 882–889. https://doi.org/10.1086/650733
154. ***Mansilla M***, ***Morales-Cauti S***, ***Dellepiane-Gil1 H***, ***Chuquizuta C***. ***2023***. Resistencia antibiótica de cepas de *Salmonella enterica* aisladas de canales de cuyes en un mercado de Lima, 2021. Rev Inv Vet Perú 34(1):e24595. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v34i1.24595
155. ***Marcelo G***. ***2015***. Identificación de *Salmonella enteritidis* y *Typhimurium* aislada de cuyes mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa múltiple. Tesis para optar por el Título Profesional de Médico Veterinario. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 51 p.
156. ***Marroquín S***. ***2015***. Buscando el vino y cerveza ideal para "casar" al cuy. Diario El Comercio (Perú). [***Internet***], [2 febrero 2025]. Disponible en: https://elcomercio.pe/blog/destilandopisco/2015/10/buscando-el-vino-y-cerveza-ideal-para-casar-al-cuy/#google_vignette
157. ***Marshall JM***, ***Gunn JS***. ***2015***. The O-antigen capsule of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium facilitates serum resistance and surface expression of FliC. Infect Immun 83(10):3946-59. https://doi.org/10.1128/IAI.00634-15
158. ***Mata R***. ***2016***. Recipes for crossing boundaries: Peruvian fusion. En: ***Ayora-Diaz SI***. Cooking technology: Transformations in culinary practice in Mexico and Latin America. London: Bloomsbury Academic. p 139-152.
159. ***Matsuura A***, ***Morales S***, ***Calle S***, ***Ara M***. ***2010***. Susceptibilidad a antibacterianos in vitro de *Salmonella enterica* aislada de cuyes de crianza familiar-comercial en la provincia de Carhuaz, Ancash. Rev Inv Vet Perú 21(1): 93-99. https://doi.org/10.15381/rivep.v21i1.355
160. ***Matta R***. ***2013***. Valuing native eating: The modern roots of Peruvian food heritage. Anthropology of Food S8. http://aof.revues.org/7361

161. ***Mehta K***, ***O'Hara K***. ***2006***. Dosimetry for food processing and research applications. En: ***Fan X***, ***Sommers CH*** (eds.). Food irradiation research and technology. Blackwell Publishing Professional. p 105-126.
162. ***Meilgaard M. 2020***. Sensory Evaluation Techniques. Vol. 2. Boca Raton: CRC Press. 159 p. https://doi.org/10.1201/9780429291852
163. [***MIDAGRI***] ***Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego***. ***2020***. En el 2020 se elevarán las ventas y consumo de cuy. Nota de prensa. [***Internet***], [5 enero 2025]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/76440-en-el-2020-se-elevaran-las-ventas-y-consumo-de-cuy
164. [***MIDAGRI***] ***Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego***. ***2023***. Cadena productiva de cuy. [***Internet***], [2 febrero 2025]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4061856/Cadena%20productiva%20de%20cuy.pdf
165. [***MINSA***] ***Ministerio de Salud del Perú. 2008***. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 591-2008/MINSA sobre la "Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano".
166. ***Miller RB. 2005***. Electronic irradiation of foods: an introduction to the technology, Nueva York, Springer US.
167. ***Modi VK, Sakhare PZ, Sachindra NM, Mahendrakar NS. 2008***. Changes in quality of minced meat from goat due to gamma irradiation. Journal of Muscle foods 19(4): 430-442. https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2008.00128.x
168. ***Mohamed MI***, ***Habib I***, ***Khalifa HO***. ***2024***. *Salmonella* in the food chain within the Gulf Cooperation Council countries. AIMS Microbiol 10(3):468-488. https://doi.org/10.3934/microbiol.2024023
169. ***Mohamed WS, El-Deen AME. 2016***. Inhibition of *Escherichia coli* 0157:H7 growth by gamma radiation improves the hygienic quality of chilled fresh beef meat. Pakistan Journal of Zoology 48(5): 1373-1379.
170. ***Mondragon GV***, ***Moreno JN***, ***Sánchez LL***, ***Gomez AP***. ***2022***. Técnicas microbiológicas y moleculares para la identificación de *Salmonella* sp en la industria avícola: una revisión sistemática de alcance. Rev Inv Vet Perú 33(6). https://doi.org/10.15381/rivep.v33i6.21268
171. ***Monte DM***, ***Sellera FP***. ***2020***. *Salmonella*. Emerg Infect Dis 26(12):2955. https://doi.org/10.3201/eid2612.et2612
172. ***Morales-Aramburo J***, ***Puerta JA***. ***2020***. Bases físicas de la radiación ionizante. Rev Colomb Cardiol 27:32-40. https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.007
173. ***Mota-Rojas D***, ***Trujillo-Ortega ME***, ***Becerril-Herrera M***, ***Roldan-Santiago P***, ***Gonzalez-Lozano M***, ***Guerrero-Legarreta I***. ***2012***. Efecto del método de sacrificio sobre variables críticas sanguíneas y consecuencias sobre la bioquímica de la carne de cobayo (*Cavia porcellus*). Rev Científica FCV-LUZ XXII(1):51-58.
174. ***Mrityunjoy A, Israt I, Rashed N. 2019.*** Effects of gamma irradiation on the propagation of microbial growth in commonly available meat in Bangladesh. International Food Research Journal 26(4):1211-1218.
175. ***Nakandakari L***, ***Gutiérrez E***, ***Chauca L***, ***Valencia R***. ***2015***. Medición del pH intramuscular del cuy (*Cavia porcellus*) durante las primeras 24 horas post beneficio tradicional. Salud Tecnol Vet 2:99-105. https://doi.org/10.20453/stv.v2i2.2246
176. ***Niemira BA, Lonczynski KA, Sommers CH. 2006***. Radiation sensitivity of *Salmonella* isolates relative to resistance to ampicillin, chloramphenicol or gentamicin. Radiation Physics and Chemistry 75(9):1080-1086. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.03.004
177. ***Niemira BA. 2005a***. Nalidixic acid resistance increases sensitivity of Escherichia coli 0157:H7 to ionizing radiation in solution and on green leaf lettuce. J Food Sci 79(2): M121–M124. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07101.x
178. ***Nishihira J***. ***2020***. Chapter 12 - Safety of irradiated food. En: Andersen V (ed.). *Genetically modified and irradiated food*. Oxford (UK): Academic Press. p 259-267.

179. ***Nurdaulet S, Uazhanova RU, Erzhigitov ES. 2024***. Influence on quality indicators and shelf life of radiation treated poultry meat. The Journal of Almaty Technological University 145(3):66-72. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-3-66-72
180. ***[OMS] Organización Mundial de la Salud***. ***2017***. La OMS publica la lista de las bacterias para las que se necesitan urgentemente nuevos antibióticos. [Internet], [2 febrero 2025]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/detail/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed
181. ***Ortega G***, ***Jiménez R***, ***Ara M***, ***Morales S***. ***2015***. La salmonelosis como factor de riesgo de mortinatalidad en cuyes. Rev Inv Vet Perú 26(4):676-681. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i4.11203
182. ***Pang X, Hu X, Du X, Lv C, Yuk HG. 2023***. Biofilm formation in food processing plants and novel control strategies to combat resistant biofilms: the case of *Salmonella* spp. Food Sci Biotechnol 32(12):1703-1718. https://doi.org/10.1007/s10068-023-01349-3
183. ***Park JN, Song BS, Kim JH, Choi JI, Sung NY, Han IJ, Lee JW. 2012***. Sterilization of ready-to-cook Bibimbap by combined treatment with gamma irradiation for space food. Radiation Physics and Chemistry 81:1125-1127.
184. ***Parry CM***, ***Hien TT***, ***Dougan G***, ***White NJ***, ***Farrar JJ***. ***2002***. Typhoid fever. N Engl J Med 347:1770–1782. https://doi.org/10.1056/NEJMra020201
185. ***Pelicia K, Garcia EA, Molino AB, Santos GC, Vieira Filho JA, Santos TA, Berto DA. 2015***. Chicken meat submitted to gamma radiation and packed with or without oxygen. Revista Brasileira de Ciência Avícola 17(2):255-261. https://doi.org/10.1590/1516-635x1702255-262
186. ***Pillai SD***, ***Shayanfar S***. ***2015***. Introduction to electron beam pasteurization in food processing. En: Pillai SD**,** Shayanfar S (eds.). Electron beam pasteurization and complementary food processing technologies. Cambridge: Woodhead Publishing Publications. p 3-9.
187. ***Pillai SD***, ***Shayanfar S***. ***2017***. Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry. Top Curr Chem 375:6.
188. ***Prakash A***. ***2016***. Particular applications of food irradiation fresh produce. Radiat Phys Chem 129:50-52.
189. ***Prakash A. 2020***. Chapter 9 - What is the benefit of irradiation compared to other methods of food preservation? En: Andersen V (ed.). *Genetically Modified and Irradiated Food*. Oxford: Academic Press, pp. 217-231.
190. ***Premi M***, ***Khan KA***. ***2018***. Irradiation technology: Processing of fruits and vegetables. En: Sehrawat R**,** Khan K**,** Goyal M**,** Paul P (eds.). Technological interventions in the processing of fruits and vegetables, 1ra ed. New York: Apple Academic Press, Inc. p 209-226.
191. ***Purwati E. 2015***. Effect of gamma irradiation technology on the microbial quality and sensory attributes of fresh meat in Pondok Labu traditional market, South Jakarta. Pakistan Journal of Nutrition 14(10): 693-697. https://doi.org/10.3923/pjn.2015.693.697
192. ***Rajkowski K, Niebuhr S, Dickson J. 2006***. Effect of gamma or beta radiation on *Salmonella* DT 104 in ground pork. Journal of food protection 69(6): 1430-3 . https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.6.1430
193. ***Ravindran R***, ***Jaiswal AK***. ***2019***. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. Food Chem 285:363-368.
194. ***Rehman T***, ***Yin L***, ***Latif MB***, ***Chen J***, ***Wang K***, ***Geng Y***, ***Huang X***, ***Abaidullah M***, ***Guo H***, ***Ouyang P***. ***2019***. Adhesive mechanism of different *Salmonella* fimbrial adhesins. Microb Pathog 137:103748. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103748
195. ***Richardsonn VCG***. ***2000***. Diseases of domestic guinea pigs, 2.ª ed. Reino Unido: Wiley-Blackwell Science. https://doi.org/10.1002/9780470693773
196. ***Ricke SC***, ***Dawoud TM***, ***Kim SA***, ***Park SH***, ***Kwon YM***. ***2018***. *Salmonella* cold stress response: Mechanisms and occurrence in foods. Adv Appl Microbiol 104:1-38. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.03.001
197. ***Rima FJ, Sadakuzzaman M, Hossain MA, Ali MS, Hashem MA. 2019***. Effect of gamma irradiation on shelf life and quality of broiler meat. SAARC Journal of Agriculture 17(1):149-159.

198. ***Roberts PB***. ***2014***. Food irradiation is safe: Half a century of studies. Radiat Phys Chem 105:78-82.
199. ***Roberts PB***. ***2016***. Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. Radiat Phys Chem 129:30-34.
200. ***Rodrigues L, Sales L, Fontes P, Filho R, Andrade M, Ramos A, Ramos E. 2019***. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. Food chemistry 313:126137. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126137
201. ***Rodrigues LM, Sales LA, Fontes PR, Torres Filho RA, Andrade MPD, Ramos ALS, Ramos EM. 2020***. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. Food Chem 313:126137. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126137
202. ***Rodrigues L, Guimarães A, De Lima Ramos J, Filho R, Fontes P, Ramos A, Ramos E. 2022***. Application of gamma radiation in the beef texture development during accelerated aging. Journal of texture studies 53: 923-934. https://doi.org/10.1111/jtxs.12714
203. ***Rodriguez C***. ***2025***. Cuy al estilo cajamarquino: Conoce 5 formas diferentes de preparar el plato emblema de la gastronomía andina. *Diario El Comercio* (Perú). [Internet], [2 febrero 2025]. Disponible en: https://elcomercio.pe/provecho/tendencias/cuy-al-estilo-cajamarquino-conoce-5-formas-diferentes-de-preparar-el-plato-emblema-de-la-gastronomia-andina-noticia/
204. ***Romanenko S***, ***Perelman P***, ***Trifonov V***, ***Serdyukova N***, ***Li T***, ***Fu B***. ***2015***. A first generation comparative chromosome map between guinea pig (*Cavia porcellus*) and humans. PLoS One 10:e0127937. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127937
205. ***Rosenfeld S***. ***2008***. Delicious guinea pigs: Seasonality studies and the use of fat in the pre-Columbian Andean diet. Quater Inter 180:127–134. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.011
206. ***Rossi L***, ***Watson D***, ***Escandarani S***, ***Miranda A***, ***Troncoso A***. ***2009***. La radiación a la mesa. Rev Chil Infect 26(4):318-330. http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182009000500003
207. ***Rubio P***, ***Chávez J***, ***Febres G***, ***Deza H***. ***2018***. Predicción de peso de carcasa a la edad de beneficio en cuyes del genotipo Cieneguilla con base a una síntesis de medidas corporales. Rev Inv Vet Perú 29(2):507-513. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14476
208. ***Ryan MP***, ***O'Dwyer J***, ***Adley CC***. ***2017***. Evaluation of the complex nomenclature of the clinically and veterinary significant pathogen *Salmonella*. Biomed Res Int 2017:3782182. https://doi.org/10.1155/2017/3782182
209. ***Sadakuzzaman M, Hossain MA, Rahman MM, Azad MAK, Hossain MM, Ali MS, Hashem MA. 2021***. Combined effect of irradiation and butylated hydroxyanisole on shelf life and quality of beef at ambient temperature. Meat Research 1(1). https://doi.org/10.55002/mr.1.1.3
210. ***Sadakuzzaman M, Rahman M, Hashem M, Ali M, Alam A. 2024***. Synergistic effects of gamma irradiation and butylated hydroxyanisole on the sensory, physicochemical, and microbiological quality of beef. Applied Food Research 4: 100547. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100547
211. ***Salari M, Khatami M. 2025***. Simultaneous Application of electron beam irradiation and freezing as an effective method for shelf-life extension of minced turkey meat. Food Science & Nutrition 13. https://doi.org/10.1002/fsn3.4752
212. ***Salazar E***, ***Ramos D***, ***Lucas J***, ***Carhuallanqui A***, ***Guevara J***, ***Salazar M***. ***2022***. Influencia de la oleorresina de *Capsicum chinense* en la vida útil de la carne de res empacada al vacío y almacenada en refrigeración. Rev Inv Vet Perú 33(4).
213. ***Sales L, Rodrigues L, Silva D, Fontes P, Filho R, Ramos A, Ramos E. 2020***. Effect of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. Meat science 163: 108078. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108078
214. ***Salvatierra G***, ***Rimac R***, ***Chero A***, ***Reyna I***, ***Rosadio R***, ***Maturrano L***. ***2018***. Resistencia antimicrobiana y genotipificación de cepas de *Salmonella Typhimurium* aisladas de cuyes (*Cavia porcellus*) provenientes de granjas de producción intensiva de la ciudad de Lima, Perú. Rev Inv Vet Perú 29(1):319-327. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14089

215. ***Sánchez J. 2019***. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de la carne de cuy en el mercado arequipeño. Tesis para optar por el grado académico de Bachiller en Ingeniería Industrial. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
216. ***Sánchez-Macías D***, ***Barba-Maggi L***, ***Morales-delaNuez A***, ***Palmay-Paredes J***. ***2018***. Guinea pig for meat production: A systematic review of factors affecting the production, carcass and meat quality. Meat Sci 143:165-176. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.004
217. ***Santos A, Vizeu D, Destro M, Franco B, Landgraf M. 2003***. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp em carne de frango. Food Science and Technology International 23: 200-205. https://doi.org/10.1590/s0101-20612003000200017
218. ***Schlisselberg DB***, ***Yaron S***. ***2013***. The effects of stainless steel finish on *Salmonella Typhimurium* attachment, biofilm formation and sensitivity to chlorine. Food Microbiol 35(1):65-72. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.02.005
219. ***Sedeh FM, Arbabi K, Fatolahi H, Abhari M. 200***7. Using gamma irradiation and low temperature on microbial decontamination of red meat in Iran. Indian J Microbiol 47(1):72-6. https://doi.org/10.1007/s12088-007-0013-y
220. ***Sholpan A***, ***Lamas A***, ***Cepeda A***, ***Franco CM***. ***2021***. *Salmonella* spp. quorum sensing: An overview from environmental persistence to host cell invasion. AIMS Microbiol 7(2):238-256. https://doi.org/10.3934/microbiol.2021015
221. ***Silva DR, Haddad GB, de Moura AP, de Souza PM, Ramos AL, Hopkins DL, Ramos EM. 2021***. Safe cured meat using gamma radiation: Effects on spores of *Clostridium sporogenes* and technological and sensorial characteristics of low nitrite cooked ham. Lwt 137:110392. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110392
222. ***Sinanoglou VJ, Konteles S, Batrinou A, Mantis F, Sflomos K. 2009***. Effects of gamma radiation on microbiological status, fatty acid composition, and color of vacuum-packaged cold-stored fresh pork meat. Journal of food protection 72(3):556-563. https://doi.org/10.4315/0362-028X-72.3.556
223. ***Siravati M, Bojayanaik M, Banavath S, Dnyanoba ST, Tekade V, Gundubilli D, Naik S, Alandur V, Hiriyur S. 2024***. Efficacy of gamma irradiation in eliminating *Salmonella* typhimurium contamination in seafood. European Journal of Nutrition & Food Safety 16 (11):264–273. https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i111591
224. ***Skowron K, Grudlewska K, Gryń G, Skowron KJ, Świeca A, Paluszak Z, Zimek Z, Rafalski A, Gospodarek-Komkowska E. 2018***. Effect of electron beam and gamma radiation on drug-susceptible and drug-resistant *Listeria monocytogenes* strains in salmon under different temperature. J Appl Microbiol 125(3):828-842. https://doi.org/10.1111/jam.13902
225. ***Slade D, Radman M. 2011***. Oxidative stress resistance in Deinococcus radiodurans. Microbiology and Molecular Biology Reviews 75:133-191.
226. ***Soriano KA***. ***2020***. Determinación de *Salmonella* enterica en canal de cuy en un centro de abasto, Lima. Tesis para optar al título profesional de Médico Veterinario Zootecnista. Lima: Universidad Científica del Sur.
227. ***Soto-Simental S, Valera-Quezada E, Hernández-Chavez J, Güemes-Vera N, Ayala-Martínez M. 2016***. Efecto de grasa, agua añadida, carragenina y fosfatos en un producto emulsionado con carne de carpa (*Cyprinus carpio*). Agrociencia 50: 413-427.
228. ***Spotorno AE***, ***Marín JC***, ***Manríquez G***, ***Valladares JP***, ***Rico ED***, ***Rivas C***. ***2006***. Ancient and modern steps during the domestication of guinea pigs (*Cavia porcellus* L.). J Zoology 270(1):57-62. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00117.x
229. ***Spotorno ÁE***, ***Valladares JP***, ***Marín JC***, ***Zeballos H***. ***2004***. Molecular diversity among domestic guinea-pigs (*Cavia porcellus*) and their close phylogenetic relationship with the Andean wild species *Cavia tschudii*. Rev Chil Hist Nat 77(2):243-250.
230. ***Tack DM***, ***Ray L***, ***Griffin PM***, *et al*. ***2020***. Preliminary incidence and trends of infections with pathogens transmitted commonly through food—Foodborne Diseases Active Surveillance Network, 10 US sites, 2016–2019. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 69(17):509-514. http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6917a1

231. ***Tahergorabi R***, ***Jaczynski J***, ***Matak KE***. ***2014***. Electron beam inactivation of foodborne pathogens with an emphasis on *Salmonella*. En: Bhat R**,** Gómez-López VM (eds.). *Practical food safety*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., pp.451-470.
232. ***Tandzong CLM***, ***Mbougueng PD***, ***Womeni HM***, ***Ngouopo NM***. ***2015***. Effect of cassava leaf (*Manihot esculenta*) level in guinea-pigs (*Cavia porcellus*) meal on the physico-chemical and technological properties of its meat. Food Nutr Sci 6(15). https://doi.org/10.4236/fns.2015.615146
233. ***Tarkowski J, Stoffer S, Beumer R, Kampelmacher E. 1984.*** Low dose gamma irradiation of raw meat. I. Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. International Journal of Food Microbiology 1:13-23. https://doi.org/10.1016/0168-1605(84)90025-4
234. ***Teklemariam AD***, ***Al-Hindi RR***, ***Albiheyri RS***, ***Alharbi MG***, ***Alghamdi MA***, ***Filimban AAR***, ***Al Mutiri AS***, ***Al-Alyani AM***, ***Alseghayer MS***, ***Almaneea AM***. ***2023***. Human salmonellosis: A continuous global threat in the farm-to-fork food safety continuum. Foods 12(9):1756. https://doi.org/10.3390/foods12091756
235. ***Thayer DW, Boyd G, Muller WS, Lipson CA, Hayne WC, Baer SH. 1990***. Radiation resistance of *Salmonella*. Journal of Industrial Microbiology 5: 383–390. https://doi.org/10.1007/BF01578097
236. **Thayer DW. 1995**. Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry 1. Journal of Food Safety 15(2): 181-192. https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.1995.tb00132.x
237. ***Thayer D, Boyd G, Fox J, Lakritz L. 1997.*** Elimination by gamma irradiation of *Salmonella* spp. and strains of Staphylococcus aureus inoculated in bison, ostrich, alligator, and caiman meat. Journal of food protection, 60(7): 756-760. https://doi.org/10.4315/0362-028x-60.7.756
238. ***Tindall BJ***, ***Grimont PAD***, ***Garrity GM***, ***Euzéby JP***. ***2005***. Nomenclature and taxonomy of the genus *Salmonella*. Int J Syst Evol Microbiol 55(Pt 1):521-524. https://doi.org/10.1099/ijs.0.63580-0
239. ***Tornberg E. 2013***. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. Meat science 95: 871-8. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.053
240. ***Tsui IS***, ***Yip CM***, ***Hackett J***, ***Morris C***. ***2003***. The type IVB pili of *Salmonella enterica* serovar Typhi bind to the cystic fibrosis transmembrane conductance regulator. Infect Immun 71(10): 6049–6050. https://doi.org/10.1128/IAI.71.10.6049-6050.2003
241. ***Uazhanova R, Tungyshbayeva U, Nurdaulet S, Zhanbolat A, Yusof YA, Seksenbay S, Danko I, Moldakhmetova Z. 2025***. Effect of Electron Beam Irradiation on Microbiological Safety and Quality of Chilled Poultry Meat from Kazakhstan. Processes 13(7):2267. https://doi.org/10.3390/pr13072267
242. ***Underthun K***, ***De J***, ***Gutierrez A***, ***Silverberg R***, ***Schneider KR***. ***2018***. Survival of *Salmonella* and *Escherichia coli* in two different soil types at various moisture levels and temperatures. J Food Prot 81(1):150–157. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-226
243. ***Unión Europea***. ***1999a***. Directiva 1999/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L66:16–23.
244. ***Unión Europea***. ***1999b***. Directiva 1999/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de febrero de 1999 relativa al establecimiento de una lista comunitaria de alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las Comunidades Europeas L66:24–25.
245. ***[USDA/FDA] United States Department of Agriculture/Food and Drug Administration***. ***2018***. Code of Federal Regulations. Irradiation in the production, processing, and handling of food. Washington, DC: US Government Printing Office. [Internet] [30 enero 2025] Disponible en: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=ab5a0912d43e60f35cf70d28ca0f91b8&mc=true&n=pt21.3.179&r=PART&ty=HTML#se21.3.179_121

246. ***van der Heijden J***, ***Reynolds LA***, ***Deng W***, ***Mills A***, ***Scholz R***, ***Imami K***. ***2016***. *Salmonella* rapidly regulates membrane permeability to survive oxidative stress. MBio 7(4):10–1128. https://doi.org/10.1128/mbio.01238-16
247. ***Van Puyvelde S***, ***Gasperini G***, ***Biggel M***, ***Phoba MF***, ***Raso MM***, ***de Block T***, ***Vanheer LN***, ***Deborggraeve S***, ***Vandenberg O***, ***Thomson N***, ***Ravenscroft N***, ***Maclennan CA***, ***Bellich B***, ***Cescutti P***, ***Dougan G***, ***Jacobs J***, ***Lunguya O***, ***Micoli F***. ***2022***. Genetic and structural variation in the O-antigen of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium isolates causing bloodstream infections in the Democratic Republic of the Congo. mBio 13(4):e0037422. https://doi.org/10.1128/mbio.00374-22
248. ***Walker LI***, ***Soto MA***, ***Spotorno ÁE***. ***2014***. Similarities and differences among the chromosomes of the wild guinea pig *Cavia tschudii* and the domestic guinea pig *Cavia porcellus* (Rodentia, Caviidae). Comp Cytog 8(2):153–166. https://doi.org/10.3897/CompCytogen.v8i2.7509
249. ***Wang Y, Tian X, Liu X, Xing J, Guo C, Du Y, Zhang H, Wang W. 2021***. Focusing on intramuscular connective tissue: Effect of cooking time and temperature on physical, textual, and structural properties of yak meat. Meat science 184:108690. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108690
250. ***WHO***. ***2018***. *Salmonella* no tifoidea. Datos y cifras. [Internet] [30 enero 2025] Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/*Salmonella*-(non-typhoidal)
251. ***Woodside JV. 2015.*** Nutritional aspects of irradiated food. Stewart Postharvest Review 3:1-6.
252. ***Wypij M***, ***Świecimska M***, ***Czarnecka J***, ***Dahm H***, ***Rai M***, ***Golinska P***. ***2018***. Antimicrobial and cytotoxic activity of silver nanoparticles synthesized from two haloalkaliphilic actinobacterial strains alone and in combination with antibiotics. J Appl Microbiol 124(6):1411–1424. https://doi.org/10.1111/jam.13723
253. ***Yun H, Haeng Lee K, Jung Lee H, et al. 2012***. Effect of high-dose irradiation on quality characteristics of ready-to-eat chicken breast. Radiation Physics and Chemistry, 81:1107-1110.
254. ***Zachmann K***. ***2011***. Atoms for peace and radiation for safety – how to build trust in irradiated foods in Cold War Europe and beyond. History Technol 27:65–90.
255. ***Zambrano H***, ***Lucas J***, ***Vilca M***, ***Ramos D***. ***2013***. Determinación de *Salmonella* spp en centros de beneficio clandestino de pollos de engorde en Lima, Perú. Rev Inv Vet Perú 24:337–345. http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v24i3.2582
256. ***Zeng H***, ***De Reu K***, ***Gabriël S***, ***Mattheus W***, ***De Zutter L***, ***Rasschaert G***. ***2021***. *Salmonella* prevalence and persistence in industrialized poultry slaughterhouses. Poult Sci 100(4):100991. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.014
257. ***Zhang M, He L, Li C, Yang F, Zhao S, Liang Y, Jin G. 2020.*** Effects of gamma ray irradiation-induced protein hydrolysis and oxidation on tenderness change of fresh pork during storage. Meat Sci 163:108058. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108058
258. **Zhang Y, Lu Z, Zhao H, Li S, Hong Z, Wang J, Li R, Zheng W, Zhu H, Xie P, Hu Y, Zhou C, Mao Q, Sun L, Li S, Wang W, Wang F, Pan W, Wang C. 2024**. Antimicrobial Resistance and Genomic Characterization of *Salmonella* Isolated from Pigeons in China. Transboundary and Emerging Diseases, 2024. https://doi.org/10.1155/2024/3315678
259. ***Zhou Z***, ***Jin X***, ***Zheng H***, ***Li J***, ***Meng C***, ***Yin K***, ***Jiao X***. ***2018***. The prevalence and load of *Salmonella*, and key risk points of *Salmonella* contamination in a swine slaughterhouse in Jiangsu province, China. Food Control 87:153–160. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.026

IX. ANEXOS

A.1. Resultados de la caracterización y secuenciamiento de los aislados de *Salmonella* spp. usadas en este estudio

A1.1. Aislado QRY_B14_1100R

Fuente: Aislado de la playa de oreo (final del proceso de sacrificio) del matadero de Orcotuna autorizado por el SENASA, en setiembre del 2024.
Método de aislamiento microbiológico: Técnica de hisopado y transporte en Cary-Blair (Oxford). Preenriquecimiento en caldo Rappaport-Vassiliadis (Merck), cultivado en agar Lysine Xylose Deoxycholate (Merck) y bioquímicamente confirmado mediante pruebas de agar triple azúcar hierro (TSI), agar lisina hierro (LIA), agar citrato Simmons, medio de motilidad sulfuro indol (SIM), caldo MR-VP y caldo urea.
Pruebas de resistencia antimicrobiana: Resistente a amikacina y estreptomicina; Susceptible a amoxicilina/ácido clavulánico, trimetoprim/sulfametoxazol, ácido nalidíxico, ciprofloxacina, ceftriaxona, cefotaxima, ceftazidima, imipenem, ampicilina, nitrofurantoína, ofloxacina, enrofloxacina, fosfomicina, aztreonam, meropenem y norfloxacina (Método de Kirby-Bauer en agar Muller Hinton y discos antibióticos de OXOID).
Análisis Molecular: Confirmación de *Salmonella* spp, por detección del gen *invA*. Identificación del serotipo Tiphymurium mediante detección del gen *fliC*. Los productos del PCR fueron secuenciados comercialmente, alineándose con genomas de referencia y reconstruyéndose filogenéticamente para determinar la relación evolutiva y confirmar la identificación de la cepa como *Salmonella*.



A.1.2. Aislado QRY_B15_907R

Fuente: Aislado de la playa de oreo (final del proceso de sacrificio) del matadero de Orcotuna autorizado por el SENASA, en setiembre del 2024.
Método de aislamiento microbiológico: Técnica de hisopado y transporte en Cary-Blair (Oxford). Preenriqquecimiento en caldo Rappaport-Vassiliadis (Merck), cultivado en agar Lysine Xylose Deoxycholate (Merck) y bioquímicamente confirmado mediante

pruebas de agar triple azúcar hierro (TSI), agar lisina hierro (LIA), agar citrato Simmons, medio de motilidad sulfuro indol (SIM), caldo MR-VP y caldo urea.

Pruebas de resistencia antimicrobiana: Susceptible a amikacina, estreptomicina, amoxicilina/ácido clavulánico, trimetoprim/sulfametoxazol, ácido nalidíxico, ciprofloxacina, ceftriaxona, cefotaxima, ceftazidima, imipenem, ampicilina, nitrofurantoína, ofloxacina, enrofloxacina, fosfomicina, aztreonam, meropenem y norfloxacina (Método de Kirby-Bauer en agar Muller Hinton y discos antibióticos de OXOID).

Análisis Molecular: Confirmación de *Salmonella* spp, por detección del gen *invA*. Identificación del serotipo Tiphymurium mediante detección del gen *fliC*. Los productos del PCR fueron secuenciados comercialmente, alineándose con genomas de referencia y reconstruyéndose filogenéticamente para determinar la relación evolutiva y confirmar la identificación de la cepa como *Salmonella*.



A.2. Programa de formación, estandarización y validación del desempeño del panel sensorial

Para las pruebas sensoriales se usaron un panel de 30 evaluadores entrenados, seleccionados entre los miembros de la universidad de acuerdo a su familiaridad con la carne de cuy, su experiencia previa en las pruebas realizadas y la reproducibilidad en sus evaluaciones.

El panel estuvo constituido por 14 hombres y 16 mujeres de entre 18 y 65 años. Todos los participantes estuvieron libres de afecciones que comprometieran los sentidos del gusto y olfato, como el tabaquismo, personas con anosmia, alergias respiratorias constantes o afecciones dentales, así como el uso de medicamentos que alteren la percepción sensorial (por ejemplo, fármacos que generen "sabor metálico" o sequedad bucal).

Considerando que el Perú es el principal productor y consumidor global de *Cavia porcellus*, la selección de los candidatos para el entrenamiento se basó en el concepto de idoneidad cultural y habituación, en el que los individuos con un consumo frecuente de carne de cuy poseen una memoria sensorial preestablecida respecto a los atributos típicos de la especie (sabor, textura y aroma), lo que los posiciona como los candidatos más aptos a nivel mundial para detectar desviaciones sensoriales inducidas por tratamientos tecnológicos como la irradiación gamma.

El entrenamiento del panel comprendió diferentes etapas que siguieron los criterios del ISO 8586:2023 para seleccionar y formar los denominados evaluadores seleccionados, evaluadores sensoriales entrenados y evaluadores sensoriales expertos. También se siguieron los criterios de la ISO 6658:2017, que proporciona orientación general sobre la metodología del análisis sensorial.

Los candidatos, originalmente 42, fue sometido a un proceso de selección y entrenamiento estructurado en función de su agudeza sensorial, su capacidad de identificación y desarrollo de descriptores para reconocer cambios específicos en la matriz, y la evaluación de su desempeño. Se realizaron sesiones repetidas para verificar la repetibilidad (consistencia individual) y la reproducibilidad (consenso entre los

miembros del panel). Los detalles de las fases del programa de entrenamiento se resumen a continuación:

Fase	Actividad y Matriz	Objetivo	Referencia
I. Selección y Agudeza	Soluciones acuosas y aromas.	Evaluación de la capacidad fisiológica: Identificación de sabores básicos (dulce, salado, ácido, amargo, umami) y detección de umbrales para descartar ageusia o anosmias y evaluar la agudeza de los evaluadores.	ISO 8586 Cap. 5.2
II. Familiarización Inductiva	Matrices genéricas (Chocolates y carne de pollo).	Mitigación del error de aprendizaje: Entrenamiento en la mecánica de pruebas de ordenación, triangulares y escalas hedónicas utilizando estímulos familiares para asegurar la comprensión del protocolo.	ISO 8586 Cap. 5.4
III. Estandarización de Muestra	Carne de cuy en parrilla eléctrica (4-8 min/lado).	Optimización técnica: Establecimiento del protocolo de preparación para garantizar la repetibilidad térmica y determinación del punto óptimo de palatabilidad para los ensayos finales.	ISO 6658:2017
IV. Lexicografía y Calibración	Carne de cuy: dosis (0 vs. 10 kGy) y tiempos de cocción (4 vs. 8 min/lado).	Anclaje de descriptores e intensidades: Consenso de atributos específicos (ej. "olor a irradiado") y calibración de escalas de textura (dureza/jugosidad) usando los tiempos de cocción como referencias físicas de intensidad.	ISO 8586 Cap. 6.2 y 6.3
V. Validación de Consistencia	Carne de cuy (Control vs. 2 kGy) en sesiones repetidas.	Verificación de la repetibilidad intra-juez: Aplicación de pruebas triangulares, de ordenación y hedónicas con dosis bajas para confirmar que el evaluador mantiene juicios estables y consistentes ante diferencias sutiles previo a la toma de datos. Comprobación de la reproducibilidad dentro del panel	ISO 8586 Cap. 6.4

Siguiendo este programa, se consideró que los evaluadores alcanzaron el estatus de "Panel Entrenado", pero lejos del "Panel Experto", que requeriría adicionalmente una experiencia prolongada (años) en la industria específica, una memoria sensorial excepcional y la capacidad de realizar juicios técnicos consistentes sobre una amplia gama de variaciones del producto sin necesidad de referencias constantes.