



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**Programa de Doctorado en
Biociencias y Ciencias Agroalimentarias**

**Evaluación de contaminación por *Salmonella* en la
carne de pavo, desde el sacrificio hasta su
comercialización. Eficacia de las medidas
implantadas par su reducción y control**

Evaluation of the contamination of *Salmonella* in
turkey meat, from slaughter step to
commercialization. Effectiveness of the implemented
measures for its reduction and control.

**MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR
FRANCISCO JOSÉ ARISPÓN ORTIZ**

**DIRECTOR
LUIS M. MEDINA CANALEJO**

SEPTIEMBRE, 2023

TITULO: *Evaluación de contaminación por Salmonella en la carne de pavo, desde el sacrificio hasta su comercialización. Eficacia de las medidas implantadas para su reducción y control*

AUTOR: *Francisco Jose Arispón Ortiz*

© Edita: UCOPress. 2023
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es

Tesis doctoral enmarcada en el Programa de Doctores en Empresas y cofinanciada por el Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y el Banco Santander.





TÍTULO DE LA TESIS: Evaluación de contaminación por *Salmonella* en la carne de pavo, desde el sacrificio hasta su comercialización. Eficacia de las medidas implantadas par su reducción y control

DOCTORANDO: FRANCISCO JOSÉ ARISPÓN ORTIZ

INFORME RAZONADO DEL DIRECTOR DE LA TESIS

La Tesis que se presenta fue fruto, en su origen, de un programa de Tesis en empresas a través del Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario ceiA3, desde el Grupo de investigación PAIDI AGR0175 “Microbiología de los alimentos”.

El doctorando, director de Seguridad alimentaria en la empresa en que ha realizado el trabajo, ha debido hacer un esfuerzo extraordinario para compaginar su formación doctoral con las tareas propias de su actividad profesional. Por ello, los plazos se han extendido en el tiempo, si bien nunca desfalleció en la idea de culminarlo, lo que queda patente en esta memoria, tras un excelente trabajo por su parte. La tesis se ha desarrollado en condiciones industriales, paralelamente a los procesos productivos, en una línea piloto para estas pruebas, y en las mismas condiciones de dicha producción.

El doctorando ha cumplido todos los requisitos y realizado el trabajo con los estándares necesarios para hacerse acreedor al título de Doctor. Los Materiales y la metodología han sido adecuados, y los resultados contrastados por su publicación en una revista indexada en JCR (Q2): “Applied Sciences”. Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral,

en Córdoba, 12 de julio de 2023.

Firma del director

Fdo.: Luis M. Medina Canalejo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi director de tesis, Luis Medina, porque a pesar de que dicho proyecto de investigación se ha dilatado y siempre ha estado condicionado por mis compromisos profesionales, siguió apostando por el proyecto y por mi persona, estando supervisando cada paso y dirigiendo dicha Tesis, gracias a su amplia experiencia en este tipo de proyectos en la Universidad. Muchísimas gracias por tu paciencia y comprensión, sin duda, sin tu dirección hubiese sido imposible culminar dicho proyecto.

En segundo lugar, quiero agradecer el desarrollo de esta tesis a la empresa donde desarrollo mi actividad profesional, y donde he tenido la oportunidad de desarrollar mi proyecto de investigación, constituyendo mi Tesis Doctoral. Así:

A Víctor José Martínez Gómez, actual director general, por no solo seguir con una actitud continuista por el proyecto, sino darle mucha mayor envergadura, dotando al proyecto de todos los medios físicos y profesionales para desarrollar con éxito la mayoría de las pruebas prácticas necesarias para el desarrollo de la investigación. Y de carácter muy personal y especial, por apostar siempre por mí, dándome su apoyo incondicional en todo momento, insistiendo en que no cesara en ningún momento para lograr el objetivo marcado. De corazón, gracias Víctor.

A mis queridos compañeros del Departamento de Seguridad Alimentaria, el cual tengo la infinita suerte de coordinar, formando un equipo fantástico de trabajo que ha colaborado abiertamente en el desarrollo de muchas de las experiencias realizadas. Además de por aguantar a un jefe, a veces tozudo, con su mejor cara y profesionalidad. A mis compañeros del equipo Directivo, por su apoyo y colaboración en todo momento.

A Alfonso Serrano Sánchez, exdirector general de la empresa, por apostar en su momento por un proyecto de investigación de gran interés para la organización y siguiendo un modelo de colaboración entre Universidad-Empresa, que era desconocido para nosotros.

En tercer lugar, al campus de Excelencia Internacional de Agroalimentación ceiA3, al Ministerio de Educación Cultura y Deporte, Ministerio de Economía y Competitividad, Universidad de Córdoba y Banco Santander; por su aporte económico para el desarrollo del programa de doctores en empresas, aportado los medios para que el

desarrollo de esta tesis y de mi formación como investigador senior haya sido posible.

Para terminar, a mi familia y amigos. A mis amigos, por siempre estar ahí, apostando por cada proyecto que he desarrollado en mi vida, y entre cerveza y cerveza; insistir que no cesara en mi empeño de lograr el objetivo. Especialmente a mi segundo hermano Germán, por estar siempre a mi lado.

A mi familia política, que sin duda ya es mi familia, suegros, cuñadas y cuñados, por estar siempre ahí apoyando cada decisión familiar, con unidad y amor. Especialmente a mi cuñado Millán, con el que he compartida numerosas charlas de tipo académico y profesional.

A mi padre Francisco, y mi hermano Juan Carlos, por siempre creer en mí, y apoyándome día a día tanto en el trabajo diario, como en mi vida personal y profesional. Especialmente a mi padre, por darme todo lo que ha estado en su mano para que estudiase una carrera y pudiese desarrollarme como profesional; siempre desde el esfuerzo y la humildad.

A mi queridísima y amada esposa, Lilia; la cual siempre ha creído en mí en todos los proyectos tanto profesionales como de vida que hemos ido decidiendo y compartiendo juntos; por aguantarme en el día a día en el incesante trabajo y darme el aliento necesario para seguir con este proyecto, y con un crecimiento tanto profesional, como personal. Por un amor incondicional.

Y, para terminar, a la persona que me dio la vida, a mi madre, María del Carmen, gracias a la cual soy lo que soy. Y aunque tristemente nos dejó en mayo de 2020, ha seguido desde el cielo dándome alas y fuerzas para seguir a delante a pesar de los obstáculos y adversidades que me he ido encontrando en estos últimos años. Siempre con su eterna sonrisa y sus enormes ganas de vivir y de disfrutar la vida; han hecho que siga este camino y gracias a ello he conseguido la mayoría de los logros de mi vida. Espero que en este trabajo estés tan orgulloso de tu hijo como yo siempre lo he estado de ti.

A todos los que de alguna u otra forma, han contribuido para que este proyecto de investigación se lleve a delante y finalmente se haya consolidado. A todos, gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	21
RESUMEN	26
ABSTRACT	30
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	34
1. La industria del pavo en España	36
1.1. La producción de carne de pavo en España	36
1.2. Datos poblaciones	37
1.3. Producción de carne de pavo	39
1.4. Consumo de la carne de pavo en España	41
2. Enfermedades de transmisión alimentaria. <i>Salmonella</i> spp.	44
2.1. <i>Salmonella</i> spp.	45
2.2. Programas de control de <i>Salmonella</i>	52
3. Proceso productivo en matadero de pavos. Puntos críticos de contaminación microbiológica y medidas de control	60
3.1. Puntos críticos de contaminación microbiológica y medidas de control	60
4. Medidas que pueden ser aplicadas para reducir la prevalencia de <i>Salmonella</i> durante la etapa de matadero para la producción de productos de pavo	68
4.1. Mejora de parámetros en el lavado de jaulas	68
4.2. Tratamiento del agua de escaldado	72
4.3. Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro	75
4.4. Descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor	93
OBJETIVOS	100
5. Objetivos	102
5.1. Objetivo general	102
5.2. Objetivos específicos	103
MATERIAL Y MÉTODOS	104
6. Material y Métodos	106
6.1. Mejora de parámetros en el lavado de jaulas	106

6.2.	Tratamiento del agua de escaldado	109
6.2.1.	Diseño y condiciones ensayadas para esta medida	109
6.2.2.	Calentamiento del agua de escaldado	110
6.2.3.	Acidificación del agua de escaldado	111
6.3.	Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro	112
6.3.1.	Tratamientos y organización temporal	112
6.3.2.	Muestreo	112
6.3.3.	Parámetros microbiológicos de control	113
6.4.	Descontaminación de canales por aplicación de vapor	114
6.4.1.	Diseño del estudio	114
6.4.2.	Muestreo	116
6.4.3.	Parámetros microbiológicos y organolépticos de control	117
6.5.	Determinación de <i>Salmonella</i> : VIDAS®	118
6.6.	Determinación de <i>Listeria</i>	123
6.7.	Determinación de <i>Campylobacter</i>	124
6.8.	Determinación de bacterias aerobias mesófilas (BAM) y <i>Escherichia coli</i>	125
6.9.	Análisis estadístico de resultados	126
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		128
7.	Resultados y discusión	130
7.1.	Mejora de parámetros en el lavado de jaulas	130
7.2.	Tratamiento del agua de escaldado	142
7.3.	Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro	175
7.4.	Descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor	196
CONCLUSIONES		216
8.	Conclusiones	218
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		222
9.	Referencias bibliográficas	224
ANEXO		246

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones ensayadas para la descontaminación de canales por aplicación de vapor (tiempo expresado en segundos).....	115
Tabla 2. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	130
Tabla 3. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	131
Tabla 4. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	131
Tabla 5. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	132
Tabla 6. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	132
Tabla 7. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	133
Tabla 8. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1 mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	133
Tabla 9. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	134
Tabla 10. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1 mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	134
Tabla 11. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	135

Tabla 12. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	135
Tabla 13. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	136
Tabla 14. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	136
Tabla 15. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	137
Tabla 16. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	137
Tabla 17. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	138
Tabla 18. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	138
Tabla 19. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm ²).....	139
Tabla 20. Relación entre concentraciones de detergente y conductividad.....	139
Tabla 21. Disminución (%) de los recuentos de los microorganismos indicadores de higiene tras el incremento de temperatura del agua de escaldado (hasta 60°C y 70°C) durante 15 minutos.....	163
Tabla 22. Evolución de la determinación de <i>Salmonella</i> tras la acidificación del agua de escaldado (con diferentes pH iniciales).....	165
Tabla 23. Análisis sensoriales tras la acidificación del agua de escaldado.....	168

Tabla 24. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	175
Tabla 25. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	176
Tabla 26. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	176
Tabla 27. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	177
Tabla 28. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	177
Tabla 29. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	178
Tabla 30. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	178
Tabla 31. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	179
Tabla 32. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	179
Tabla 33. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	180
Tabla 34. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	180
Tabla 35. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	181

Tabla 36. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	181
Tabla 37. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	182
Tabla 38. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	182
Tabla 39. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	183
Tabla 40. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	183
Tabla 41. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	184
Tabla 42. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	184
Tabla 43. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	185
Tabla 44. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	185
Tabla 45. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	186
Tabla 46. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	186
Tabla 47. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	187

Tabla 48. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	187
Tabla 49. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	188
Tabla 50. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g).....	188
Tabla 51. Resultados obtenidos tras diferentes tratamiento del agua de lavado (% de incumplimientos de los límites establecidos).....	190
Tabla 52. Resultados (ufc/g o cm ²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 100°C durante 20 segundos.....	197
Tabla 53. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 100°C durante 20 segundos.....	198
Tabla 54. Resultados (ufc/g o cm ²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 90°C durante 20 segundos.....	199
Tabla 55. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 90°C durante 20 segundos.....	200
Tabla 56. Resultados (ufc/g o cm ²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 80°C durante 20 segundos.....	201
Tabla 57. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 80°C durante 20 segundos.....	203
Tabla 58. Resultados (ufc/g o cm ²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 70°C durante 15 segundos.....	204
Tabla 59. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 70°C durante 15 segundos.....	205

Tabla 60. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 65°C durante 10 segundos.....**206**

Tabla 61. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 65°C durante 10 segundos.....**207**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del número de explotaciones de pavos (2007-2020).....	37
Figura 2: Distribución por Comunidades Autónomas de las explotaciones de pavos en España (a 1 de enero de 2020).....	38
Figura 3: Evolución del censo de pavos en España.....	39
Figura 4. Evolución de la producción de carne de pavo en España.....	39
Figura 5: Evolución de la producción de carne de pavo en España.....	40
Figura 6: Evolución de la producción de carne de pavo por Comunidades Autónomas.....	40
Figura 7: Evolución del consumo de carne fresca de pavo (2013-2019).	42
Figura 8: Consumo aparente per cápita de carne de pavo en España.....	42
Figura 9. <i>Salmonella</i>	46
Figura 10. Datos de los controles en pavos España y otros países de la UE.....	50
Figura 11. Principales costes relacionados con la infección por <i>Salmonella</i>	53
Figura 12. Diagrama de flujo en el matadero de pavos.....	62
Figura 13. Proceso de hidrólisis del cloro.....	78
Figura 14. Concentración de HOCl y OCl en función del pH.....	80
Figura 15. Diseño del tratamiento del agua de escaldado aumentando por choque de temperatura sin canales sumergidas.....	111
Figura 16. Cartuchos y conos VIDAS®.....	119
Figura 17. Contenido de los diferentes pocillos del cartucho empleado en el ensayo VIDAS®.....	120
Figura 18. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	143
Figura 19. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	143

Figura 20. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	144
Figura 21. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	144
Figura 22. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	145
Figura 23. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	145
Figura 24. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	146
Figura 25. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	146
Figura 26. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	147
Figura 27. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	147
Figura 28. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	148
Figura 29. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	148
Figura 30. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	149
Figura 31. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	149
Figura 32. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	150
Figura 33. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	150
Figura 34. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	151
Figura 35. Evolución de los recuentos de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	151
Figura 36. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	152

Figura 37. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	152
Figura 38. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	153
Figura 39. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	153
Figura 40. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	154
Figura 41. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	154
Figura 42. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	155
Figura 43. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	155
Figura 44. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	156
Figura 45. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	156
Figura 46. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	157
Figura 47. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	157
Figura 48. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 1 de sacrificio.....	158
Figura 49. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 2 de sacrificio.....	158
Figura 50. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 3 de sacrificio.....	159
Figura 51. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 4 de sacrificio.....	159
Figura 52. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 5 de sacrificio.....	160
Figura 53. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 6 de sacrificio.....	160

Figura 54. Presencia de <i>Salmonella</i> en el agua de escaldado a lo largo del día de sacrificio.....	164
Figura 55. Evolución de la presencia de <i>E. coli</i> en el agua de escaldado tras su acidificación con diferentes pH de inicio.....	165
Figura 56. Evolución de la presencia de bacterias aerobias mesófilas (BAM) en el agua de escaldado tras su acidificación con diferentes pH de inicio.....	166

RESUMEN

Salmonella es el principal microorganismo identificado como causa de brotes de origen alimentario en la UE/EEE. La incidencia de este microorganismo en la industria avícola hace necesaria la continua actualización de los procedimientos encaminados a reducir en lo posible su prevalencia.

En esta tesis doctoral se evalúan una serie de medidas destinadas a reducir la prevalencia de *Salmonella* en diversas etapas de matadero. Las medidas adoptadas se centran en: (a) Mejora de parámetros de lavado de jaulas; b) Calentamiento y acidificación del agua de escaldado; c) Desinfección de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro; d) Descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor.

En relación con el lavado de jaulas, el efecto sinérgico del aumento de concentración del detergente alcalino sódico con la temperatura se muestra más eficaz que el de subir cada parámetro por separado, pero siempre respetando los límites establecidos. No se estima necesario usar la máxima concentración de detergente alcalino, ya que la acción combinada de 2mS y de 60°C es suficiente para conseguir no superar los límites para los indicadores microbiológicos establecidos, protegiendo los carros y ahorrando en costes en relación con un tratamiento más severo.

El calentamiento y la acidificación del agua de escaldado han mostrado su eficacia en la reducción de la aparición de *Salmonella* en la etapa de escaldado. En función de las condiciones ensayadas en este estudio, se propone el calentamiento del agua de escaldado a 70°C, que

puede repetirse si las desventajas en costes y recursos expuestos del proceso fueran aceptables. Esta medida podría combinarse con un pH del agua del tanque de escaldado siempre inferior a 4'5, utilizando un ácido que no afecte a la calidad final de los productos y/o a los elementos implicados.

El debate a lo largo de los años sobre el uso de dióxido de cloro como descontaminante en canales de aves justifica el estudio de medidas que lo incluyan a bajas concentraciones de cara a su potencial y futura reconsideración por parte del Consejo. Esto se refuerza por el uso del dióxido de cloro en países de importante relación comercial con Europa, y por la carencia de pruebas en condiciones asimiladas a las comerciales (escala piloto). En las condiciones estudiadas, la actividad desinfectante del ClO_2 sería eficaz como coadyuvante del agua, siempre generándolo in situ, y en una concentración de 0'5 ppm en dicho punto. De las condiciones ensayadas para el tratamiento con vapor de manera no directa, la aplicación de 20 segundos a 80°C obtiene en su conjunto los mejores resultados con el tipo de cabina empleado, y en función de los objetivos perseguidos.

Sobre la base de nuestros datos, se debería profundizar en el afinado de unas condiciones cercanas a las seleccionadas, en función de condiciones reales de velocidad de la cadena y otros factores específicos de cada productor.

ABSTRACT

Salmonella is the main micro-organism identified as a cause of food-borne outbreaks in the EU/EEA. The incidence of this microorganism in the poultry industry makes it necessary to continuously update procedures aimed at reducing its prevalence as much as possible.

In this PhD thesis, a series of measures aimed at reducing the prevalence of *Salmonella* at various slaughterhouse stages are evaluated. The measures adopted focus on: (a) Improvement of cage washing parameters; (b) Acidification of scalding water; (c) Disinfection of carcasses by means of water treated with chlorine dioxide; (d) Decontamination of turkey carcasses by steam application.

In relation to cage washing, the synergistic effect of increasing the concentration of the sodium alkaline detergent with temperature is shown to be more effective than increasing each parameter separately, but always within the established limits. It is not considered necessary to use the maximum concentration of alkaline detergent, as the combined action of 2mS and 60°C is sufficient to ensure that the limits for the established microbiological indicators are not exceeded, protecting the trolleys and saving on costs in relation to a more severe treatment.

Heating and acidification of the scalding water has been shown to be effective in reducing the occurrence of *Salmonella* in the scalding step. Based on the conditions tested in this study, it is proposed to heat the scalding water to 70°C, which can be repeated if the cost and resource disadvantages of the process are acceptable. This measure could be combined with a pH of the scalding tank water always below 4.5, using

an acid that does not affect the final quality of the products and/or the elements involved.

The debate over the years on the use of chlorine dioxide as a decontaminant in poultry carcasses justifies the study of measures including it at low concentrations with a view to its potential and future reconsideration by the Council. This is reinforced by the use of chlorine dioxide in countries with important trade relations with Europe, and by the lack of trials under conditions similar to commercial conditions (pilot scale). Under the conditions studied, the disinfectant activity of ClO_2 would be effective as a water adjuvant, provided it is generated in situ, and at a concentration of 0.5 ppm at that point. Of the conditions tested for non-direct steam treatment, the application of 20 seconds at 80°C obtained the best overall results with the type of cabin used, and depending on the objectives pursued.

On the basis of our data, further refinement of conditions close to those selected, based on actual chain speed conditions and other factors specific to each producer, should be pursued.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1. LA INDUSTRIA DEL PAVO EN ESPAÑA

En España, según datos de la Subdirección General de Productos Ganaderos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), el sector ganadero aportó en 2017 el 38'1% de la Producción Final Agraria (PFA), un 3'3% más que en 2007 (SGPG MAPA, 2019). Por su parte, la producción de carne de aves representó el 13'5% del total de la producción ganadera de España en 2017. Esto supuso un aumento de un 1'1% con respecto a 2007 (SGPG MAPA, 2019; Cano, 2020).

1.1. La producción de carne de pavo en España

Hasta 1960 los únicos pavos que se conocían en España eran el pavo negro, criado en semilibertad en los cortijos andaluces y extremeños. En este punto comienzan los primeros intentos de producción de pavos de manera técnicamente más avanzada. A partir de 1967 se inicia la producción de pavos con una perspectiva moderna, en primer lugar importando huevos incubables y pavitos de un día, e inmediatamente con la llegada de los primeros lotes de reproductoras. Esta producción, hasta mediada la década de los 80, está localizada exclusivamente en Cataluña. Posteriormente fueron apareciendo empresas en Andalucía y otras localizaciones (Dolz, 2009).

A continuación vamos a contextualizar algunos datos específicos del mercado actual del pavo que dimensionan las derivadas que los problemas sanitarios derivados de su consumo pudieran ocasionar.

1.2. Datos poblacionales

Según datos de la Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cinegéticas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PRODUCCIONES GANADERAS Y CINEGÉTICAS -en adelante SGPG MAPA-, 2021) S, el 1 de enero de 2020 constaban 1.846 granjas de pavos en nuestro país. Esto supone una tendencia ascendente de un 154% desde 2007, siendo este incremento de un 4'1% (ha pasado del 5'3% al 9'4%) en cuanto a su importancia dentro del conjunto de explotaciones de aves en España.

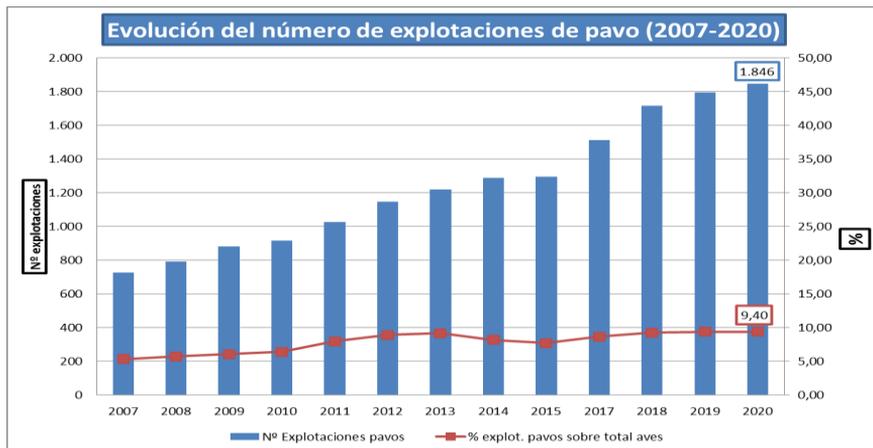


Figura 1. Evolución del número de explotaciones de pavos (2007-2020).

Fuente: SGPG MAPA (2021)

Por otro lado, Andalucía es la comunidad autónoma que más grajas de pavos posee (575), según la misma fuente anteriormente mencionada (SGPG MAPA, 2021), un dato que ha tendido a estabilizarse desde 2015. Esto supone algo más del 30% del total del Estado.

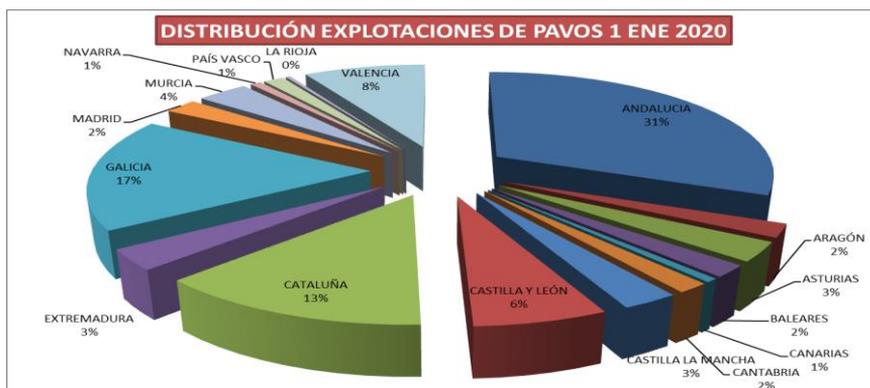


Figura 2. Distribución por Comunidades Autónomas de las explotaciones de pavos en España (a 1 de enero de 2020). Fuente: MAPA (2021).

En la caracterización del sector que publica el Ministerio mencionado, se considera el censo de pavos en España como de 13'7 millones, de acuerdo con lo registrado en SITRAN en esa fecha señalada de 1 de enero de 2020, un 200% más que en 2008, tras haberse registrado una leve caída en 2018 que se recuperó en los registros sucesivos (SGPG MAPA, 2021). Andalucía supone el 32%.

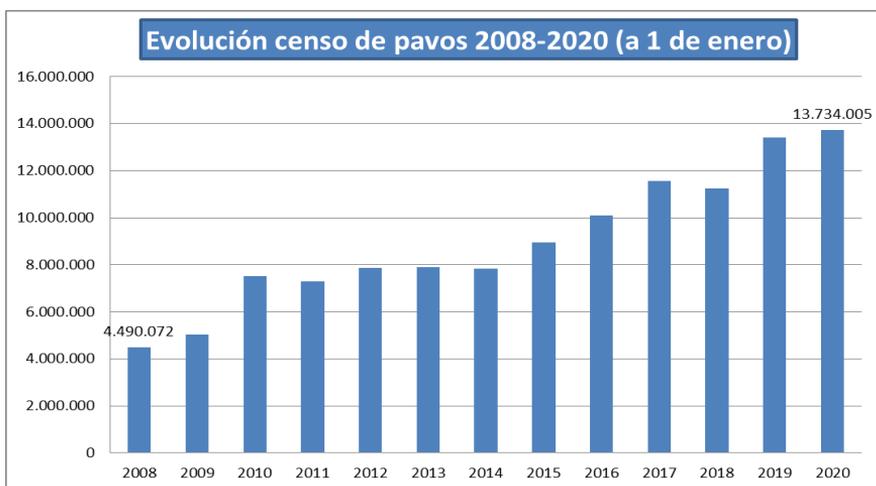


Figura 3. Evolución del censo de pavos en España. Fuente: MAPA (2021)

1.3. Producción de carne de pavo

Los datos de producción de carne de pavo en España indican un incremento del 50% entre 2014 y 2019, evolucionando de 158 mil toneladas a 237 mil. Una vez más, son Andalucía y Cataluña las principales Comunidades Autónomas productoras, con 109 mil y 67 mil toneladas, respectivamente (SGPG MAPA, 2021).

Fecha	Nº PAVOS SACRIFICADOS	TONELADAS CARNE DE PAVO
2014	19.994,82	158.090,51
2015	22.042,68	154.020,81
2016	24.549,71	164.155,24
2017	25.309,82	174.509,54
2018	27.021,02	210.150,33
2019	30.735,00	237.337,00

Fuente: SG de Análisis, Coordinación y Estadística. Elaboración SG de Producciones Ganaderas y Cinegéticas

Figura 4. Evolución de la producción de carne de pavo en España

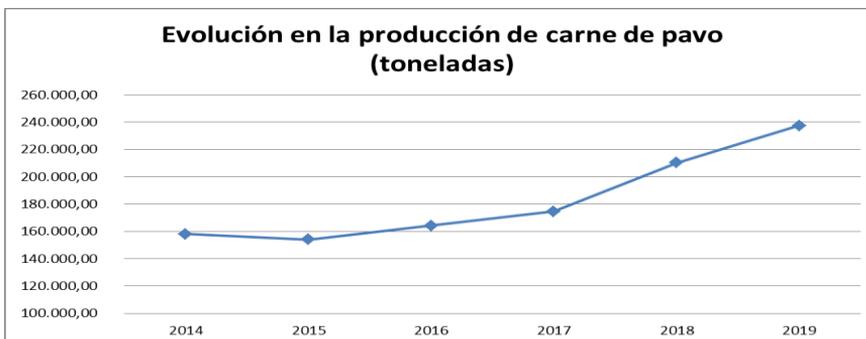


Figura 5. Evolución de la producción de carne de pavo en España. Fuente: SGPG MAPA (2021)

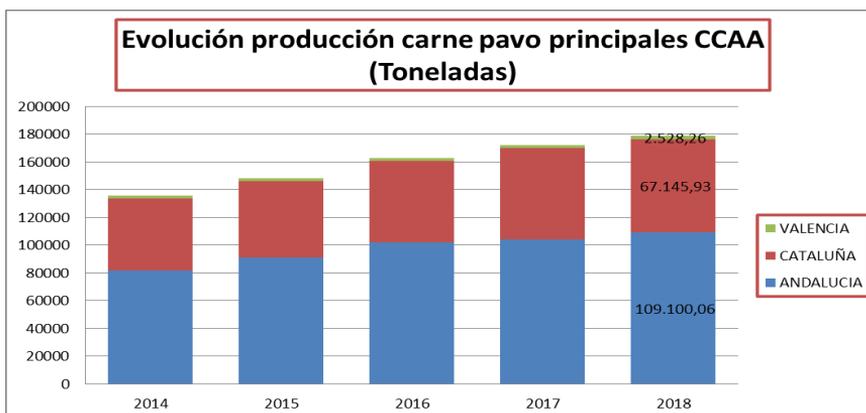


Figura 6. Evolución de la producción de carne de pavo por Comunidades Autónomas. Fuente: SGPG MAPA (2021)

En términos comerciales, nuestra balanza comercial en el sector de la carne de pavo es positiva, exportándose más toneladas de las que se importan, y siempre con una tendencia al alza en los últimos años (salvo la puntual y leve caída de 2018). En el año 2019 se exportaron un total de 52.626 toneladas y se importaron 49.615. Esto supone que la carne de pavo protagoniza el 19'9% de las exportaciones de carne de ave en España, y el 21'8% de las importaciones. El 99'8% de las importaciones de

carne de pavo tiene origen en la Unión Europea, principalmente Polonia, seguida de Francia y ya en menor medida Alemania. Si consideramos las exportaciones, y siempre según los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, el 67% de las mismas se producen hacia países de la UE, principalmente a Portugal, Francia y Alemania; entre los países externos a la UE los principales receptores fueron Benin y Suráfrica (SGPG MAPA, 2021).

1.4. Consumo de la carne de pavo en España

En la Figura 7 podemos observar la evolución del consumo de carne fresca de pavo (2013-2019), evolución que, al contrario que la de carne de pollo y otras carnes frescas, que van sufriendo un receso, se muestra en una línea estable, con años en los que se observan incrementos y otros en los que se producen ligeros descensos. Se podría considerar este consumo en unas 70.000 toneladas anuales, lejos aún de las 500.000 toneladas de carne de pollo. Los datos de consumo de fiambres de pavo se situaron en 57.777'5 toneladas (SGPG MAPA, 2021).

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación considera que como consumo aparente per cápita el dato obtenido si sumamos producción e importaciones y le restamos las exportaciones, dividiendo finalmente ese valor entre el número de habitantes. Lo podemos observar en la Figura 8, donde se aprecia una tendencia ascendente, que ha llegado en el último dato a una media de casi 5 kg de carne al año por persona (SGPG MAPA, 2021).

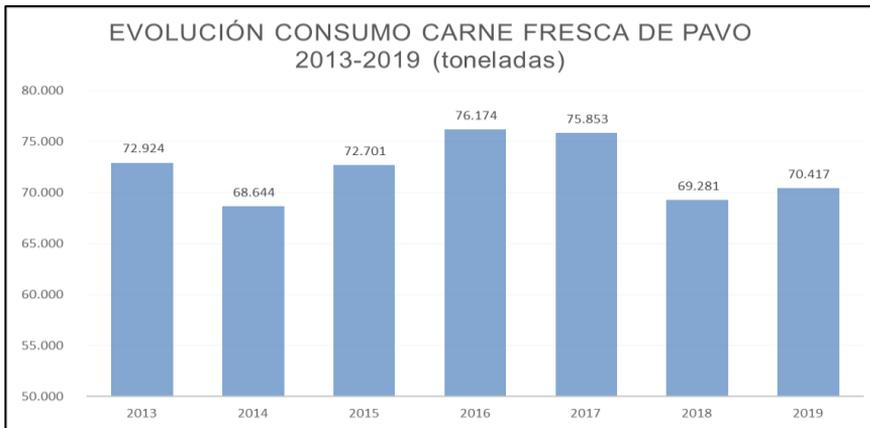


Figura 7. Evolución del consumo de carne fresca de pavo (2013-2019).
Fuente: SGPG MAPA (2021)

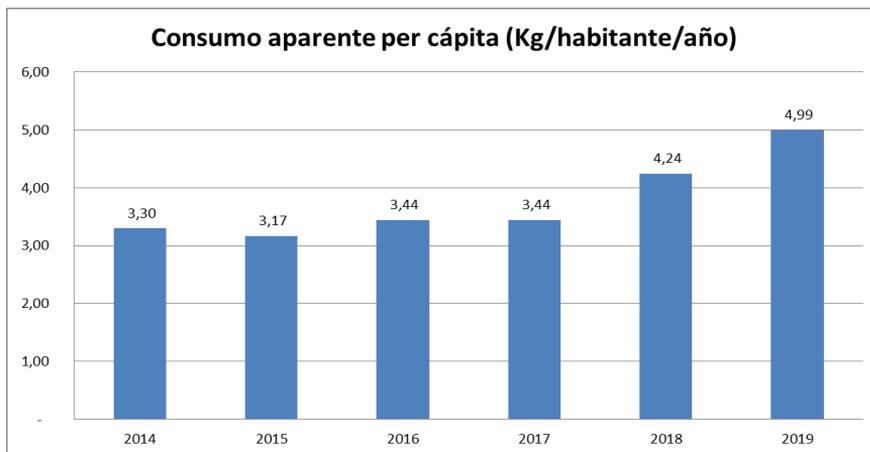


Figura 8. Consumo aparente per cápita de carne de pavo en España.
Fuente: MAPA (2021)

2. ENFERMEDADES DE TRANSMISIÓN ALIMENTARIA. ***Salmonella spp.***

Las zoonosis son enfermedades infecciosas que han pasado de un animal a humanos. Los patógenos zoonóticos pueden ser bacterias, virus, parásitos o agentes no convencionales y propagarse a través de los alimentos, el agua o el medio ambiente. Representan un importante problema de salud pública en todo el mundo y pueden causar alteraciones en la producción y el comercio de productos de origen animal destinados a la alimentación y otros usos (WHO/OMS, 2023).

La Directiva 2003/99/CE del Parlamento Europeo y del Consejo aborda la vigilancia de las zoonosis y los agentes zoonóticos, teniendo por finalidad, además de la vigilancia propiamente dicha, la recopilación de información para evaluar tendencias y fuentes de estas enfermedades. La recogida y el análisis de datos se realizarán en aquel eslabón de la cadena alimentaria que se considere más apropiado según las zoonosis de que se trate; y puede llevarse a cabo en cualquier fase de la cadena alimentaria (Cano, 2020).

Son objeto de vigilancia en toda circunstancia las zoonosis y agentes zoonóticos siguientes (Anónimo, 2003a):

- Brucelosis y sus agentes causales.
- Campilobacteriosis y sus agentes causales.
- Equinococosis y sus agentes causales.
- Listeriosis y sus agentes causales.
- Salmonelosis y sus agentes causales.
- Triquinosis y sus agentes causales.

- Tuberculosis por *Mycobacterium bovis*.
- *Escherichia coli* verotoxigénica.

De estos agentes zoonóticos, los principales patógenos asociados con enfermedades transmitidas a las personas por consumo de carne de aves son *Salmonella* y *Campylobacter* (Zweifel y Stephan, 2012; Cano, 2020). De hecho, según el informe de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y el Centro Europeo para la Prevención y Control de Enfermedades (ECDC) sobre zoonosis de 2020, en el que se recogen los datos aportados por 36 países europeos, la campilobacteriosis, con 120.946 casos, es la enfermedad de transmisión alimentaria más común en humanos. Le sigue la salmonelosis, con 52.702 casos confirmados. En España, los casos de salmonelosis en 2020 fueron 3.526, aunque los datos no son completos en dicho ejercicio (EFSA / ECDC, 2021).

2.1 *Salmonella* spp.

El género *Salmonella* está formado por un conjunto de bacterias que se agrupan en 2 especies, 6 subespecies y más de 2.500 serovariedades (Malorny et al., 2011). Las 2 especies en que se divide el género son *S.enterica* y *S.bongori*, siendo patógena para el hombre únicamente *S.enterica* (Cano, 2020).

La especie *S. enterica* tiene 6 subespecies y cada una de ellas está formada por diversos serotipos, en la actualidad más de 2500 (MAPA, 2023). Uno de ellos es *S. enterica* subsp. *enterica* (o subgrupo I), dividido en cinco serogrupos (A, B, C, D y E). Cada serogrupo comprende múltiples

componentes o serotipos (serovariedades). A nivel práctico la nomenclatura es diferente y más simplificada, usándose el término *Salmonella* seguido del serotipo (MAPA, 2023).

Los serotipos se definen de acuerdo con la expresión de antígenos de lipopolisacáridos somáticos y de antígenos flagelares (Cooke et al., 2007).

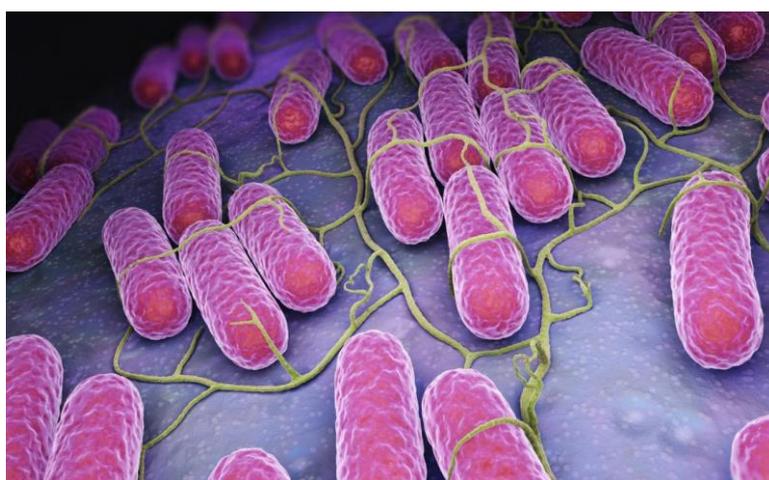


Figura 9. *Salmonella*. Fuente: www.medicalnewstoday.com

Salmonella crece en un rango de 2-54°C, aunque su crecimiento por debajo de los 7°C sólo se ha observado en cultivos microbiológicos, nunca en alimentos; y por encima de 48°C sólo en cepas que han mutado o cepas adaptadas. Su óptimo es de 37°C. En cuanto al pH, su rango máximo comprende desde 4'05 (en función del acidificante usado) a 9'5, aunque su rango principal y habitual es 6'5-7'5 (Cox y Pavic, 2014).

La salmonelosis, enfermedad causada por este microorganismo, puede afectar a todas las especies de animales domésticos, siendo los

más susceptibles los animales jóvenes, en estado de gestación, o lactantes (MAPA, 2023). La manifestación más común de la enfermedad es la entérica, pero se puede observar un espectro muy amplio de otros síntomas (septicemia aguda, aborto, artritis y enfermedad respiratoria). Muchos animales, en especial los cerdos y las aves, pueden estar infectados por determinados serotipos sin manifestar la enfermedad clínica, resultando por ello de importancia en la difusión de la enfermedad entre explotaciones y como fuentes de contaminación alimentaria y de infección humana (MAPA, 2023).

En el ser humano, la enfermedad suele manifestarse por enterocolitis aguda, con dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos y, en la mayoría de los casos, fiebre (Heymann, 2005).

Las únicas variedades no zoonóticas son *Salmonella* Typhi, *Salmonella* Paratyphi y *Salmonella* Sendai, que afectan de forma específica a humanos, causando las llamadas fiebres entéricas o fiebre tifoidea (Uribe y Suárez, 2006).

La salmonelosis es la segunda zoonosis más común en humanos en la UE después de la campilobacteriosis; muestra una tendencia decreciente en años previos de casos confirmados que se ha estabilizado desde 2014 (MAPA, 2023). En 2020 el número de casos humanos confirmados notificados y la tasa de notificación de la UE fueron los más bajos desde el comienzo de la vigilancia de *Salmonella* en 2007, probablemente debido a las restricciones, el confinamiento, medidas de higiene y limitaciones de catering durante la pandemia de COVID-19, y a

la exclusión del Reino Unido de los datos de notificación del ECDC dada su retirada de la UE (EFSA / ECDC, 2021). A pesar de la disminución sustancial en el número de casos confirmados en 2020, la tendencia de la UE para la salmonelosis en humanos no mostró ningún aumento o disminución estadísticamente significativa entre 2016 y 2020 (MAPA, 2023).

Salmonella es el principal microorganismo identificado como causa de brotes de origen alimentario en la UE/EEE (EFSA, 2023). Los alimentos de origen animal, especialmente la carne de ave, son la principal fuente de salmonelosis humana (Sun y col., 2021). Las muestras positivas proceden de diversos productos alimenticios y, en su mayoría, de carne y productos cárnicos, especialmente de carne fresca de pollos de engorde y de pavos (EFSA / ECDC, 2021), y se han notificado diferentes serotipos en los mataderos de aves de corral españoles desde la década de 1990 (Carramiñana y col., 1997). En 2020, se detectó la presencia de *Salmonella* en 518.570 muestras de carne o productos cárnicos (de 26 países), y por especies, fue detectada en 63.473 pavos (en 22 países) (EFSA / ECDC, 2021).

Salmonella fue identificada como agente de toxiinfección alimentaria en 22 estados miembros y 694 brotes, afectando a 3.686 personas en la UE, con 812 hospitalizaciones y siete fallecimientos. La mayor parte (57.9%) de los brotes de salmonelosis fue causada por *S. Enteritidis* (EFSA / ECDC, 2021). Esto muestra, además de los costes personales, del elevado coste sanitario asociado a esta enfermedad (Cano, 2020).

Por categorías de alimentos, en la distribución, la mayor proporción se dio en las siguientes tres categorías: "productos cárnicos elaborados con carne de ave destinados a ser consumidos cocinados" (7'6%), "carne fresca de aves de corral (7'3%) y "carne picada y preparados de carne de aves de corral destinados a ser consumidos cocidos" (5'7%) (EFSA / ECDC, 2021). A nivel de elaboración, los mayores porcentajes de muestras positivas a *Salmonella* fueron "carne fresca de ave" (12'6%), "carnes separadas mecánicamente" (12'4%) y "productos cárnicos elaborados con carne de ave destinados a ser consumidos cocinados" (5'4%) (EFSA / ECDC, 2021).

Este mismo informe de EFSA / ECDC (2021), muestra los datos disponibles referidos a la producción de pavos. Así, considerando los datos de seguimiento de los criterios de Higiene de Procesos para *Salmonella* procedentes de muestras de piel del cuello recogidas en el matadero, de canales de pavo tras la refrigeración, 10 estados miembros facilitaron datos. España sólo comunicó datos de control oficial. Cinco países (Austria, Francia, Alemania, Portugal y Eslovenia) comunicaron únicamente datos de control propios recogidos de los operadores alimentarios. Cuatro Estados miembros (Bélgica, Irlanda, Italia y Rumanía) comunicaron los datos de ambos casos. Considerándolos en conjunto, el porcentaje global de muestras positivas para *Salmonella* basadas en controles oficiales fue del 15% (N = 466 muestras) y fue significativamente superior al porcentaje basado en muestras de los operadores (3'2%, N = 6.924). El informe sostiene que se llega a la misma conclusión si se considera la proporción global de muestras positivas de

los cuatro estados miembros que comunicaron datos de ambos muestreadores, pero este resultado global se vio fuertemente influido por el gran conjunto de datos italianos que contribuyó con altas proporciones de resultados positivos en ambos tipos de muestras. Se notificó una gran variabilidad en términos de canales de pavo positivas para *Salmonella* entre los estados miembros y el porcentaje de canales de pavo positivas para *Salmonella* entre dichos estados, oscilando entre el 0% notificado por Irlanda, Portugal, Rumanía y Suecia, hasta el 27'3% notificado por Italia para las muestras recogidas por la autoridad competente (EFSA / ECDC, 2021).

Country	Competent authority (CA)			Food business operator (FBOp)			p-value ^(b)	Interpretation
	N samples tested	N (%) samples positive	CI ₉₅	N samples tested	N (%) samples positive	CI ₉₅		
Italy	99	27 (27.3)	[18.8; 37.2]	1,110	89 (8.0)	[6.5; 9.8]	< 0.001	CA > FBOp
Portugal	–	–	–	839	0	[0; 0.4] ^(a)	–	–
Romania	40	0	[0; 8.8] ^(a)	40	0	[0; 8.8] ^(a)	NS	–
Slovenia	–	–	–	182	4 (2.2)	[0.6; 5.5]	–	–
Spain	262	43 (16.4)	[12.1; 21.5]	–	–	–	–	–
Total EU	466	70 (15.0)	[11.9; 18.6]	6,924	224 (3.2)	[2.8; 3.7]	< 0.001	CA > FBOp
Total EU providing CA and FBOp data	204	27 (13.2)	[8.9; 18.7]	1516	90 (5.9)	[4.8; 7.3]	< 0.001	CA > FBOp

–: Data not reported.

(a): One-sided, 97.5% confidence interval.

(b): p-value: NS, not significant.

Figura 10. Datos de los controles en pavos España y otros países de la UE. Fuente: EFSA / ECDC (2021).

Finlandia, Suecia y Noruega son países con garantías especiales en relación con *Salmonella* en canales de pavo. Sin embargo, salvo el 0% comunicado por Suecia (sobre 138 muestras), Noruega y Finlandia no comunicaron datos sobre canales de pavo. Suiza comunicó tres positivos

de 125 muestras de pavo recogidas por los propios operadores (2'4%) (EFSA / ECDC, 2021).

Con respecto a las fuentes principales de los serotipos más comunes asociados con infecciones humanas, encontramos los siguientes: *S. Enteritidis* se relacionó principalmente con fuentes de gallinas ponedoras y pollos de engorde. *S. Typhimurium* tenía una distribución heterogénea y se detectó en aves, cerdos y fuentes bovinas. *S. Typhimurium* monofásico se relacionó principalmente con fuentes porcinas. *S. Infantis* se relacionó muy fuertemente con fuentes de pollos de engorde. Por su parte, *S. Derby* se relacionó principalmente con fuentes porcinas, pero también se aisló de pavos (MAPA, 2023), con lo que el protagonismo de las aves en estas incidencias es considerable.

Sin embargo, para interpretar adecuadamente estos datos de serotipos, es importante tener en cuenta que la distribución de los aislamientos serotipados entre las diferentes fuentes y los estados miembros fue muy heterogénea en términos del número de aislamientos notificados; la notificación de los datos de serotipos a veces es incompleta e inconsistente a lo largo de los años y entre los países informantes, incluso para las fuentes consolidadas de *Salmonella* (MAPA, 2023).

2.2 Programas de control de *Salmonella*

Las enfermedades de transmisión alimentaria (ETAs) son un importante problema de salud pública, manteniendo su relevancia por distintos motivos (González y Rojas, 2005):

- Aumento en la frecuencia de infecciones.
- Nuevas formas de transmisión.
- Grupos de riesgo en la población, más vulnerables al contagio.
- Desarrollo de resistencia de los microorganismos a los compuestos antimicrobianos.

Adicionalmente, las consecuencias económicas pueden ser realmente considerables. Así, el coste estimado para *S. enterica* no tifoidea en Estados Unidos en el año 2013 fue de más de 3.666 millones de dólares, incluyendo costes médicos, muerte prematura y pérdida de productividad (USDA, 2017).

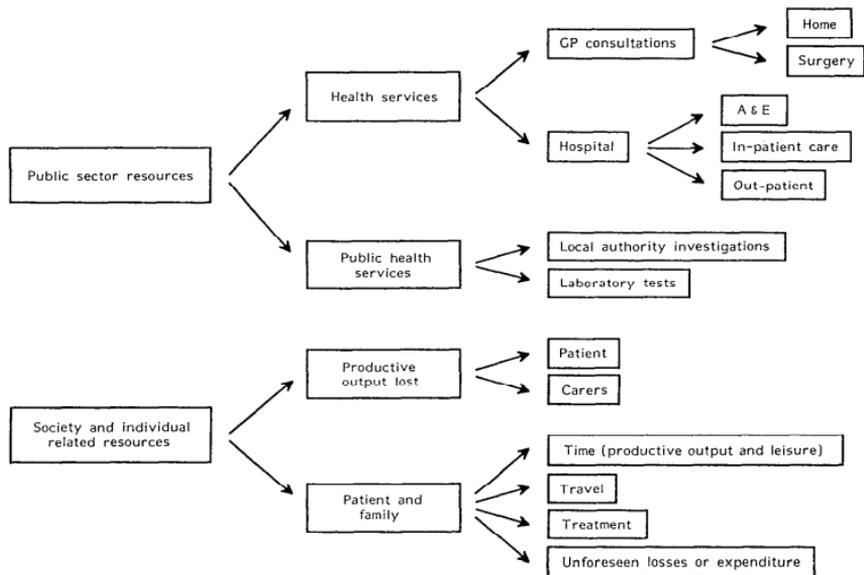


Figura 11. Principales costes relacionados con la infección por *Salmonella*.
Fuente: Sockett (1993)

Los resultados del seguimiento de la contaminación por *Salmonella* en los alimentos se basan en gran parte en los datos recopilados en el contexto del Reglamento (CE) nº 2073/2005. Con respecto a los criterios de inocuidad de los alimentos, las carnes de aves de corral (incluidas la carne fresca, la carne picada, los preparados de carne y los productos cárnicos) siguen identificándose como las categorías de alimentos con las proporciones más altas de muestras positivas para *Salmonella* (EFSA / ECDC, 2021).

A pesar de existir programas nacionales de control de *Salmonella* en aves de corral en el nivel de producción primaria que se implementaron durante varios años (EFSA BIOHAZ Panel, 2019), también se implantó un control en la “carne” debido a la relevancia que posee en el consumo, y

en particular los productos de especies de aves de corral, incluso en muestras de alimentos listos para el consumo (LPC) y no LPC recolectadas con un "muestreo objetivo". En particular, considerando muestras de alimentos listos para el consumo, se detectó *Salmonella* en "carne y productos cárnicos de diferentes especies" (por ejemplo, pollos de engorde, cerdos, vacuno y pavos) y en "especies y hierbas". La presencia observada de *Salmonella* en estas categorías de alimentos listos para el consumo es motivo de preocupación, ya que dichos productos, cuando están contaminados, representan un riesgo directo para los consumidores (EFSA / ECDC, 2021; MAPA, 2023).

Más aún, el papel de los productos avícolas como riesgo recurrente de infecciones por *Salmonella* se ha confirmado recientemente en el contexto de un brote internacional causado por *S. Enteritidis* ST11, que afectó a 193 personas en ocho países de la UE y el Reino Unido, durante los años 2018-2020 (ECDC y EFSA, 2021).

Una revisión sistemática de los factores de riesgo de *Salmonella* (Guillier et al., 2021) confirmó que los alimentos más significativamente asociados con la salmonelosis fueron los "huevos y ovoproductos", los "alimentos mezclados" y "carne" (cerdo, carne roja distinta de la de vacuno y carne de aves de corral) y que la relevancia de las distintas fuentes está afectada por las diferentes conductas y hábitos de consumo de alimentos en los países donde se han realizado las investigaciones.

El informe EFSA / ECDC (2021), en su discusión sobre este particular, recuerda que el Reglamento (UE) 2019/627 ha ampliado a

todas las especies animales cubiertas por el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 la obligación, para las Autoridades Competentes, de verificar la correcta aplicación por parte de los operadores de empresas alimentarias de las correctas prácticas de producción higiénica para *Salmonella* en las canales en el matadero. Efectivamente, los datos recogidos en este contexto confirmaron que, especialmente en el caso de las aves de corral (canales de pollos de engorde y pavos), pero también en el de los cerdos y los bovinos, las proporciones de muestras positivas recogidas por la Autoridad Competente eran significativamente superiores a las notificadas para las muestras tomadas por los propios operadores. Sin embargo, sólo un número limitado de estados miembros comunicó datos sobre las canales recogidas con arreglo a ambos métodos de muestreo (muestreo propio), recogidas con arreglo a los dos métodos de muestreo (control propio y controles oficiales), mientras que la mayoría de los estados miembros comunicaron datos recogidos por una u otra opción (EFSA / ECDC, 2021).

Aunque los estados miembros, continúa el informe, declararon que estas muestras se habían tomado mediante una estrategia de "muestreo objetivo", es posible que la discrepancia en la proporción de muestras positivas entre los dos tipos de muestreo podría explicarse en parte por el hecho de que la Autoridad Competente y la operadora muestrean con arreglo a ámbitos diferentes. Los controles oficiales pueden incluir un muestreo basado en el riesgo (Reglamento (UE) 2017/625), por lo que las situaciones más problemáticas son las que son objeto de un muestreo más intensivo por parte de la AC. Por otro lado, el alcance del muestreo realizado por el operador tiene como objetivo

mantener un control adecuado de todo el proceso de sacrificio. Esta discrepancia se mantuvo en el caso de los programas nacionales de control de las aves de corral, en los que la prevalencia de serovares de *Salmonella* objetivo en las muestras de los controles realizados por las Autoridades Competentes es sistemáticamente superior a la de los controles del operador, tanto en pollos de engorde como en pavos de engorde (EFSA / ECDC, 2021).

Especial interés tiene la comparativa de la proporción global de canales de aves de corral positivas a *Salmonella* en el matadero (alrededor del 11% de muestras positivas tanto para pollos de engorde como para pavos como controles oficiales) con la prevalencia a nivel de granja en el contexto de los Planes Nacionales de Control, tanto para pollos de engorde (3,9%) como para pavos de engorde (8,8%). Esto sugiere que el faenado, así como el transporte de animales y el propio sacrificio, pueden tener un efecto directo en la propagación de *Salmonella* y la contaminación de la carne fresca (EFSA / ECDC, 2021).

Leati y col. (2021) consideran que todos estos datos sustentan la necesidad de mantener las medidas de control y no reducirlas, con el fin de evitar la propagación del agente patógeno.

De manera más específica, en relación con el Control de *Salmonella* en pavos, el Programa Nacional de Control se basa en el Reglamento (UE) 1190/2012 relativo a un objetivo de la Unión para la reducción de *Salmonella* Enteritidis y *Salmonella* Typhimurium en las manadas de pavos, de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento

(CE) no 2160/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo (Anónimo, 2003b; Anónimo, 2012b). Este último Reglamento, trataba el control de *Salmonella* y otros agentes zoonóticos específicos transmitidos por los alimentos, y tenía como objetivo conseguir la disminución de la prevalencia de estas zoonosis, así como su riesgo para la salud pública. Para ello determina que se deben adoptar medidas que permitan detectar y controlar los agentes zoonóticos a los que se refiere, en las distintas fases de producción, transformación y distribución (Anónimo, 2003b; Cano, 2020).

Para pavos, se realizaron estudios de prevalencia merced a una ayuda financiera otorgada por una Decisión Comunitaria del año 2006 (Anónimo, 2006a). Posteriormente el Reglamento 584/2008 (Anónimo, 2008a) recogió el objetivo comunitario de reducción de la prevalencia de *Salmonella* Enteritidis, *S. Typhimurim* y *S. Typhimurim* variante monofásica en los pavos. El objetivo consistió en una reducción del porcentaje máximo de manadas positivas de engorde y de reproducción al 1% o porcentaje inferior antes del 31 de diciembre de 2012. Posteriormente se publicó el Reglamento 1190/2012 en el que se confirma dicho objetivo (Anónimo, 2012b). Esta reducción era necesaria para poder cumplir los criterios establecidos para carne fresca por el Reglamento 2160/2003 así como por el Reglamento 2073/2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios (Anónimo, 2005c). Confirmar el objetivo comunitario fue la razón de la posterior publicación del Reglamento 1190/2012, que deroga al anterior Reglamento 584/2008 (Cano, 2020).

En el caso de España, el objetivo que se pretende alcanzar es una reducción significativa en la prevalencia de *Salmonella* en las explotaciones de pavos que se destinen a la comercialización con destino sacrificio y pavos reproductores. Para alcanzar este objetivo se incluyen medidas de vigilancia y control en explotaciones, de aplicación en todo el territorio nacional (MAPA, 2023).

El Programa Nacional tiene en cuenta lo establecido por el Reglamento (CE) Nº 1190/2012, por lo que el objetivo consistirá en reducir el porcentaje máximo de manadas de pavos de engorde que siguen dando positivo en las pruebas de *Salmonella* Enteritidis y *Salmonella* Typhimurium, incluyendo las cepas monofásicas de *Salmonella* Typhimurium, y reducir el porcentaje máximo de manadas de pavos de reproducción adultos que siguen dando positivo para dichas variedades. Sin embargo, ya que actualmente el censo de manadas de pavos de reproducción adultos en España es inferior a 100, el objetivo comunitario podrá ser que no pueda seguir dando positivo más de una manada de pavos de reproducción adultos (MAPA, 2023).

En resumen, en la Unión Europea (UE), y concretamente en España, se han desarrollado normativas específicas para el control de las zoonosis de transmisión alimentaria (Anónimo, 2003b; MAPA, 2005; Cano y col., 2020). En la producción de carne de pavo, la atención se ha centrado principalmente en el control de *Salmonella* spp. (Anónimo, 2012b; MAGRAMA, 2016). Reducir la presencia de este microorganismo en todas las fases de producción es un objetivo prioritario (MAGRAMA, 2016). Las

altas tasas de prevalencia sólo pueden combatirse mediante una gestión integral de todo el proceso.

En los mataderos, todos los procesos deben hacer hincapié en evitar la contaminación de las canales y alcanzar los máximos estándares higiénicos, y principalmente disminuir la prevalencia de *Salmonella*. El control de los parámetros microbianos de higiene alimentaria (Bacterias Aerobias Mesófilas -BAM- y *Escherichia coli*, entre otras) en las diferentes etapas del sacrificio es una herramienta importante para evaluar el proceso. La normativa europea y diferentes recomendaciones internacionales establecen límites para estos microorganismos en el producto final (Anónimo, 2005c).

3. PROCESO PRODUCTIVO EN MATADERO DE PAVOS. PUNTOS CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA Y MEDIDAS DE CONTROL.

El proceso productivo en un esta fase comienza cuando, habiendo concluido el periodo de cría los animales, se trasladan al matadero, para su sacrificio y procesado. El transporte debe realizarse en condiciones que no ocasionen estrés al animal, para que se obtengan canales de calidad (Cano, 2020).

3.1. Puntos críticos de contaminación microbiológica y medidas de control

Para garantizar la seguridad alimentaria de los consumidores es necesario un planteamiento que integre toda la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta la puesta en el mercado (Anónimo, 2004a). Particularmente, y en relación con la inocuidad de los alimentos de origen aviar, es especialmente importante controlar la contaminación y multiplicación de microorganismos a lo largo de su cadena productiva (Uribe y Suárez, 2006). La principal fuente de peligros potenciales por microorganismos patógenos en carne y productos de aves, como el pavo, es la contaminación fecal de las canales durante la etapa de matadero. Si no se toman las adecuadas precauciones en la manipulación durante el sacrificio y su procesado posterior, las partes comestibles de la canal pueden resultar contaminadas con bacterias potencialmente causantes de enfermedad. Más aún, si se introducen en dicho ambiente, la contaminación se puede propagar de una canal a otra. Por ello, prevenir

este contacto con la materia fecal es vital y debe ser un elemento crítico del sistema HACCP en cualquier matadero (Dede y col., 2014).

En relación con *Salmonella*, es posible que no se consiga eliminar por completo su presencia de un entorno como el de la producción de carne de aves. Pero una reducción significativa es posible mediante la aplicación de una estrategia de control apropiada en el contexto de un plan de seguridad alimentaria basado en la implementación del sistema HACCP y a lo largo de todo el proceso de producción, hasta el consumo (Cox y Pavic, 2014).

La Comisión del Codex Alimentarius definió los puntos de control crítico (PCC) como las fases en las que puede aplicarse control y que son esenciales para reducir un peligro a un nivel aceptable (Codex Alimentarius Commission, 1993).

Por otro lado, el análisis de riesgo se entiende como la gestión de aquellos riesgos que tienen efectos significativos en la reducción de un peligro.

Las operaciones desarrolladas en el matadero de pavos son:



Figura 12. Diagrama de flujo en el matadero de pavos

En relación con el papel que juegan las distintas etapas de procesado en la contaminación de las canales, ya desde el momento de recepción de las aves la eficacia del Plan de Limpieza y Desinfección de instalaciones y equipos es de una gran relevancia. Es, por ello, imprescindible que, con cierta frecuencia (que dependerá de la fiabilidad de la aplicación de dicho Plan en cada empresa), se establezcan evaluaciones analíticas para verificar la idoneidad de las instalaciones antes de la producción, pues cierta contaminación residual, o la presencia de biofilms, no serán percibidas visualmente y se constituirán en un potencial peligro para los alimentos producidos (Álvarez Gurrea y col., 2017). Estos mismos autores señalan que la preocupación por la limpieza inicial, que es examinada internamente vía registros preoperativos y con la realización de análisis microbiológicos, y que además es exigida por clientes (auditorías pertinentes) o inspecciones oficiales, resulta insuficiente. El transcurso de la jornada diaria supone trabajar sobre superficies sucias de modo continuo, con lo que la asepsia escrupulosa del inicio no tiene sentido sin una vigilancia posterior y una sistemática de regeneración de la misma (Álvarez Gurrea y col., 2017). Durante el transcurso de la jornada los útiles y equipos pueden resultar contaminados, y es muy importante planificar posibles medidas de limpieza periódica durante los procesos, manteniéndose una vigilancia visual de la suciedad acumulada durante el periodo de trabajo, y realizar alguna analítica eventualmente para conocer el posible acúmulo de suciedad durante el proceso de producción (Álvarez Gurrea y col., 2017).

No se ha observado que el tipo de aturdido afecte a la calidad microbiológica de las canales (Cox y Pavic, 2010; Pérez Arnedo, 2016), aunque sí afecta de forma muy notable al desangrado, ya que influye en la relajación del animal *ante mortem* y el manejo, lo que influirá posteriormente en la cantidad de sangre que queda de forma intramuscular.

Respecto al proceso que facilita el desplumado de las aves, puede ser un punto importante de contaminación (Cox y Pavic, 2010). El escaldado por inmersión es el más común, y el tiempo de escaldado y la temperatura harán distintas funciones (Pérez Arnedo, 2016). Así, a 52oC durante 3 minutos no se eliminará la epidermis de la piel, pero a otras temperaturas pueden causarse daños (Thomas y col., 1987). La piel sin cutícula es el sustrato más adecuado para la fijación de Salmonella (Kim y col., 1993) y de otros diversos microorganismos (Pérez Arnedo, 2016).

Como tendremos ocasión de discutir tras los resultados de este trabajo, durante el escaldado el polvo de las plumas, la materia fecal de las patas y el contenido del tracto intestinal se liberan en el agua del escaldador. Además, este agua entra en contacto con las plumas y la piel durante el escaldado, por lo que no resulta extraña la gran variedad de bacterias que se ha encontrado en el agua del escaldador: *Clostridium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Salmonella* y estafilococos, entre otros. Todas estas bacterias han sido aisladas de las canales y sacos aéreos después del escaldado (González Fandos et al., 2009; Pérez Arnedo, 2016). El contenido de bacterias viables depende de las

condiciones de escaldado, así como de la materia orgánica en las aves (Cox y Pavic, 2010).

El desplumado mecánico consiste en una serie de dedos mecánicos de caucho con rotación (Pérez Arnedo, 2016), los cuales extraen las plumas tras el escaldado. Los recuentos de aerobios mesófilos en canales son más elevados después del desplumado, no así los psicotrofos (Gill y col., 2006; Ahmed y col., 2013).

Los recuentos más elevados de aerobios mesófilos y de estafilococos después del desplumado están relacionados con la propagación de microorganismos durante esta etapa y la inadecuada limpieza de los dedos de goma (Simonsen, 1975; Pérez Arnedo, 2016). El ambiente cálido y húmedo, así como la abundancia de nutrientes de las canales ofrece condiciones favorables para el crecimiento de *Staphylococcus aureus* (Pérez Arnedo, 2016). Los dedos de goma son difíciles de limpiar y están sujetos al desgaste y a las grietas. Incluso antes de que los dedos de las desplumadoras lleguen a deteriorarse los microorganismos pueden fácilmente penetrar por debajo de la superficie del caucho (ICMSF, 1998).

El eviscerado es habitualmente mecánico. En esta etapa los microorganismos se transmiten directamente de la canal a los equipos de extracción (Pérez Arnedo, 2016). La evisceración mecánica requiere, por ello, un mantenimiento y limpieza continuo y adecuado de su equipamiento para evitar un aumento de la contaminación de las canales (Cox y Pavic, 2010). En la evisceración automática cobra especial importancia la uniformidad de las aves sacrificadas, ya que la variación en

el tamaño de las aves aumenta la probabilidad de rasgados cloacales inadecuados, pueden dañarse o romperse buches y/o intestinos y contaminarse la canal por rotura del paquete intestinal (Ricke y Gast, 2014; Pérez Arnedo, 2016).

La siguiente etapa es el lavado de la canal. En la Unión Europea se utilizan al menos 1'5 litros de agua para una canal de 2'5kg de peso (Mulder, 1985). Utilizar un lavado con agua pulverizada para reducir enterobacterias y *Salmonella*, y hacerlo en varias ocasiones durante la evisceración, se considera más eficaz que un único lavado después de la evisceración (Mulder, 1985; Cox y Pavic, 2010; Pérez Arnedo, 2016). De hecho, esta última autora recoge varios trabajos de décadas anteriores en que el lavado mediante pulverización con agua puede llegar a disminuir el recuento de bacterias aerobias mesófilas, enterobacterias y coliformes entre un 50-90% (Pérez Arnedo, 2016). Destaca, además, que la prevalencia de *Salmonella* puede disminuir mediante el lavado por pulverización (Bryan y col., 1968; Morris y Wells, 1970), aunque algunos psicrotrofos podrían aumentar su presencia (Lahellec y col., 1973). La aplicación de vapor en la descontaminación de canales puede hacerse de manera directa, o bien por sistemas de nebulización, con sistemas como el que es objeto de ensayo en este trabajo.

La refrigeración de las canales es una etapa fundamental para evitar el crecimiento microbiano, gracias a la actividad bacteriostática de las bajas temperaturas, retrasando el crecimiento de las psicrotrofas, las únicas que pueden adaptarse a estas condiciones. Pérez Arnedo (2016) indica que el método de refrigeración ha sido muy controvertido a lo

largo de los años y ha sido muy influido por las distintas normativas de ámbito estatal y europeo. La metodología más utilizada ha sido el uso de túneles de refrigeración por aire frío (Allen y col., 2000., James y col., 2006, Cox y Pavic, 2010).

Un punto crítico del proceso en matadero es la temperatura de salida del túnel de las canales (Codex, 2002). Por ello, la calidad del aire debe ser controlada para controlar la contaminación de la canal. Grey y Mead (1986) no observaron mejora en el tiempo de vida útil entre el enfriamiento por aire y el enfriamiento por inmersión en agua helada. La media de los valores de vida útil fue de 8'8 días en las canales refrigeradas por aire y 8'6 días en las canales refrigeradas por inmersión (Pérez Arnedo, 2016).

Una vez enfriadas las canales, pasan al proceso de preparación comercial, despiezadas o no, y diversificándose en muy diversas presentaciones, lo que hará que la manipulación pase a convertirse en el principal motivo de contaminación. En concreto, la contaminación con psicotrofos que persisten en última instancia en el ambiente de trabajo frío puede influir significativamente en la vida útil del producto (Mead, 2005; Bolton et al., 2014).

4. MEDIDAS QUE PUEDEN SER APLICADAS PARA REDUCIR LA PREVALENCIA DE *SALMONELLA* DURANTE LA ETAPA DE MATADERO PARA LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS DE PAVO

Con el fin de reducir la prevalencia de *Salmonella* en matadero, existen diversas medidas que incidirán en algunos de los aspectos considerados anteriormente que favorecen la contaminación microbiológica de las canales. La contaminación cruzada y la contaminación secundaria son fundamentales en la contaminación en mataderos, articulándose a través de las cajas y jaulas de transporte, los diversos equipamientos, cuchillos, personal que faena las canales y cintas transportadoras (Zweifel y Stephan, 2012). Estos autores consideran que la extensión de esta contaminación y la relevancia de las fuentes depende de los patógenos que aporten los animales que llegan para el sacrificio, la tecnología de sacrificio, el régimen de limpieza y desinfección, y los procedimientos de higiene incluyendo el comportamiento en términos de higiene personal. Algunas de las potenciales medidas a tomar, que serán objeto de estudio en esta tesis, se exponen a continuación.

4.1. Mejora de parámetros en el lavado de jaulas

La industria avícola necesita un medio rápido y eficaz para limpiar y desinfectar sus instalaciones y recursos (White y col., 2018b). De hecho, los vehículos empleados para el transporte pueden ser transmisores de enfermedades si tras la descarga, previamente a ser cargados de nuevo, no se limpian y desinfectan adecuadamente (Cano, 2020).

El empleo de jaulas contaminadas con *Salmonella* para el transporte de aves de lotes negativos a dicho microorganismo puede causar una contaminación externa (Cano, 2020) e incluso la colonización de estos animales (Rigby y col., 1982). Más aún, el transporte de un lote positivo a *Salmonella* contamina las cajas/jaulas empleados. Por ello, tras la descarga, cajas y jaulas deben limpiarse y desinfectarse. Así, se evita la contaminación del siguiente lote transportado (Van Immerseel y col., 2009). La Ley 8/2003 de Sanidad Animal indica en su artículo 49 que una vez que se realice la descarga de animales hay que proceder a limpiar, lavar y desinfectar los vehículos empleados (Jefatura del Estado, 2003). En este sentido, las cajas y jaulas empleadas para el movimiento de aves también deben cumplir una serie de requisitos. Estos son (MAPA, 2003):

- Que eviten la pérdida de excrementos y plumas.
- Que faciliten la observación de los animales transportados.
- Que puedan limpiarse y desinfectarse. Estas operaciones tienen que realizarse antes de la carga y después de la descarga.

White y col. (2018b) consideran que los desinfectantes y productos de limpieza espumantes disponibles en el mercado aplicados mediante un sistema de espuma de aire comprimido (CAFS) pueden utilizarse para reducir significativamente las bacterias aerobias en jaulas comerciales.

La mejora de parámetros en el lavado de jaulas que aquí estudiamos se encuadra en el prerrequisito de limpieza y desinfección en mataderos avícolas (concretamente pavos) en sus etapas iniciales, dentro del APPCC que evalúa el riesgo de contaminación primaria, secundaria y cruzada que tienen las jaulas que transportan las aves vivas, una vez que éstas son

incorporadas a la parte productiva y por lo tanto se liberan para servir de nuevo con el objetivo de volver a utilizarse en el transporte de aves vivas desde las granjas donde son cargadas (Cano, 2020).

Para el transporte de pavos se usan jaulas en diferentes pisos, cuyo número de animales deben cumplir, en cuanto al número de unidades y densidad de los mismos, que “la disponibilidad de espacio en los contenedores tiene que estar adaptada a la especie, edad y clima para asegurar el confort físico y térmico, ya que la disponibilidad de espacio en el vehículo afecta directamente las condiciones de vida de las aves transportadas. Una disponibilidad de espacio limitada puede conducir a contusiones, heridas, fracturas de patas o alas o incluso asfixia” (Anónimo, 2013b). Esto dependerá igualmente del tamaño de las aves, sexo y estacionalidad, cumpliendo los parámetros de bienestar animal según protocolos de *Welfare Quality* específicos para el sector (IRTA, 2019; IRTA, 2020) así como el propio Reglamento 1/2005 (Anónimo, 2004c). El proceso de uso de estas jaulas distingue cuatro etapas, según el siguiente flujo de actuaciones: Recepción de aves vivas en jaulas, vaciado de jaulas e incorporación de aves a la cadena, incorporación de las jaulas al sistema de limpieza y desinfección (punto que estudiaremos en este trabajo), e incorporación de las jaulas limpias y desinfectadas al camión limpio y desinfectado (previo paso por lavadero de camiones homologados).

En el presente estudio nos basaremos en la adecuación del mejor sistema de limpieza y desinfección para las jaulas antes descritas teniendo en cuenta el correcto sistema usado en empresas cárnicas para

la limpieza y desinfección. El proceso se divide en las siguientes etapas (CHRISTEYNS, 2023):

- Eliminación de las partículas de mayor tamaño mediante procedimientos manuales y adecuada presión de agua. Paredes, equipos, maquinaria y suelos deben mostrar un aspecto limpio.
- Aplicación de detergentes/desinfectantes para industrias alimentarias. Así se ayuda a eliminar cualquier suciedad restante, particularmente grasa, manteniéndolas en suspensión o emulsionándolas. Pueden aplicarse por pulverización, inmersión o utilizando equipos de generación de espuma, aunque algunas superficies con capas gruesas de suciedad adheridas pueden requerir de un fregado manual con estropajos o cepillos no abrasivos.
- Enjuague para la eliminación de cualquier resto de suciedad disuelta o en suspensión y restos de detergente.
- Desinfección mediante pulverización de todas las superficies con un agente biocida de uso en la industria alimentaria a la dosis y el tiempo de contacto recomendados.
- Enjuague de las superficies en contacto con alimentos.

No tenemos constancia de muchos estudios que se centren en los procesos de limpieza y desinfección de las jaulas de transporte, aunque sí se incluyen muestras con este origen en estudios de carácter más global. Así, Gomolka-Pawlicka y col. (2014) realizaron una experiencia en diferentes estaciones del año, abarcando 16 ciclos productivos de 4 granjas, para ver la influencia del transporte en la difusión de *Campylobacter* sp., obteniendo una alta incidencia en la superficie de los

contenedores de transporte, fundamentalmente debida a una higiene inadecuada de las jaulas durante el día de transporte de las aves al matadero. De entre los estudios más centrados en las jaulas de transporte, Zang y col. (2015) realizaron una evaluación sobre jaulas de plástico inoculadas con *Salmonella* Enteritidis, valorando el uso de agua electrolizada suavemente acidificada en relación con el agua de grifo.

Por su parte, encontramos un estudio basado en los procesos de limpieza y desinfección pero aplicado a jaulas de ponedoras, valorando el régimen dedicado (agua a alta o baja presión), y diversos productos como jabón, un limpiador clorado, un amonio cuaternario, glutaraldehído, ácido peroxiacético, un compuesto fenólico, peroximonosulfato potásico, peróxido de hidrógeno y una mezcla de productos cuaternarios y glutaraldehído (White y col., 2018a). Otro estudio de estos autores emplea estos productos para evaluar los protocolos de limpieza en la industria, pero aplicándolos mediante un sistema de espuma de aire comprimido (CAFS).

4.2 Tratamiento del agua de escaldado

escaldado, se realiza para facilitar la posterior fase de desplumado, y este proceso se lleva a cabo sumergiendo las aves sacrificadas en agua caliente o mediante exposición al vapor (Barbut, 2015). Según este autor, los pavos suelen someterse a un proceso denominado escaldado/semiescaldado suave, que se realiza a una temperatura del agua de 50-53°C durante 1-3 minutos. El escaldado por inmersión es el más común, y el tiempo de escaldado y la temperatura harán distintas

funciones (Pérez Arnedo, 2016). Así, a 52oC durante 3 minutos no se eliminará la epidermis de la piel, pero a otras temperaturas pueden causarse daños (Thomas y col., 1987). La piel sin cutícula es el sustrato más adecuado para la fijación de Salmonella (Kim y col., 1993) y de otros diversos microorganismos (Pérez Arnedo, 2016).

Hemos ya insistido en que esta etapa, junto al desplumado, puede favorecer la contaminación. A priori, un escaldador avícola prepara las canales para el desplumado y reduce la carga bacteriana y de residuos en la piel de la canal (Buhr y col., 2014). El control de la temperatura en un escaldador convencional con tanque de agua es también un aspecto clave para mantener la carga bacteriana bajo control (Barbut, 2015). De hecho, el escaldado se considera tanto un paso importante como problemático en lo que respecta a la contaminación (Cox y Pavic, 2010). Irshad y Arun (2013) alertan de que se requiere un diseño cuidadoso del equipo para la higiene de la carne, ya que 1 g de material de tierra (por ejemplo suciedad o materia fecal) adherida a las plumas puede contener 10⁸-10⁹ microorganismos. Es importante minimizar la contaminación cruzada en la caldera de escaldado (Mulder y col., 1978). Las variables físicas para controlar esta contaminación son el tiempo y la temperatura, que influyen en el lavado y en los efectos antimicrobianos; la variable química es el pH, que también influye en el efecto antimicrobiano (Irshad y Arun, 2013). Según estos autores, para una producción de carne de cerdo y de ave de calidad, es necesario estudiar los métodos de escaldado y la selección de la temperatura. De hecho, los momentos en los que se produce con frecuencia la contaminación cruzada en los mataderos incluyen las fases de escaldado, desplumado, eviscerado y refrigeración

(González Miret y col., 2006). Asimismo, Russell (2008) estima que el tiempo, la temperatura, el pH y el uso de productos químicos antimicrobianos, entre otros factores implicados en esta etapa, son críticos tanto para mantener la calidad del producto como para minimizar la aparición de patógenos entéricos. Como ya hemos señalado con anterioridad, durante el escaldado el polvo de las plumas, la materia fecal de las patas y el contenido del tracto intestinal se liberan en el agua del escaldador, y este agua entra en contacto con las plumas y la piel durante el escaldado, por lo que no resulta extraña la gran variedad de microorganismos que podemos encontrar. Todas estas bacterias han sido aisladas de las canales y sacos aéreos después del escaldado (González Fandos et al., 2009; Pérez Arnedo, 2016). Cox y Pavic (2010) consideran que el número de bacterias viables depende, entre otros aspectos, de las condiciones de escaldado. Por su parte, Buncic y Sofos (2012) revisaron trabajos que demostraban que, además de la temperatura del agua, la contaminación de las canales durante el escaldado puede reducirse con diversas medidas, entre ellas la inclusión de productos químicos autorizados para mantener el pH en valores que no permitan el crecimiento de Salmonella (Cason y Hinton, 2006; Cason y col., 2000; Cason y col., 1999; FAO/WHO, 2009a; FAO/WHO, 2009b).

En el presente trabajo abordaremos el efecto de un tratamiento que afecta a dos parámetros de fundamental incidencia en la supervivencia de los microorganismos: la temperatura y el pH.

Es conocido que en ambientes con pH por debajo de 5 las condiciones son desfavorables para el desarrollo de bacterias del género *Salmonella* (Byrd, 1999).

También habría que tener en cuenta que la exposición de *Salmonella* a condiciones adversas, incluyendo su exposición a temperaturas subletales y condiciones más exigentes de pH, aumentan su resistencia (Cox y Pavic, 2014). De hecho, los alimentos con alto contenido en sólidos, particularmente en proteínas o grasas, y bajos en humedad (y a_w) resultan altamente protectores, y se ha determinado una supervivencia en alimentos como chocolate o mantequilla de cacahuete de horas estando sometidos a 70-80°C, algo menos marcado cuando la a_w se reduce por razón de azúcares o sal (Cox y Pavic, 2014). Más aún, estos autores especifican que un incremento de temperatura aumenta a su vez la sensibilidad de *Salmonella* a un pH reducido, así como la presencia de ciertos aditivos, sales o nitritos. La acidez es el mayor protector frente a *Salmonella* cuando el acidulante ha sido añadido, o bien producido por fermentación (Cox y Pavic, 2014).

4.3. Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro

Las medidas de descontaminación de canales cobran una especial relevancia en el control de los microorganismos contaminantes presentes en las canales procesadas. Los tratamientos, para ello, deben cumplir varios requerimientos como mejorar la seguridad alimentaria, no

modificar las características organolépticas ni nutricionales del producto, no aportar residuos al alimento, que su aplicación sea práctica, que resulte económico, y sin presentar objeciones para consumidores ni legisladores (Zweifel y Stephan, 2012).

González-Fandos (2014) estima que la descontaminación de canales debe ser considerada como una medida complementaria para reducir la carga microbiana y aplicada únicamente como parte de un programa de control integrado a lo largo de toda la cadena alimentaria. En concreto, el uso adecuado de compuestos antimicrobianos durante el procesamiento de las aves de corral crudas puede ayudar a minimizar las posibilidades de enfermedades de transmisión alimentaria (Cano y col., 2021).

Los procedimientos de descontaminación de canales se pueden dividir en físicos (utilización de agua fría, caliente o vaporizada, irradiación o congelación), químicos (diversos compuestos ácidos, clorados, peroxiácidos, fosfato trisódico...) y biológicos (como las bacteriocinas) (González-Fandos, 2014).

Los puntos en los que se debe actuar con agua por arrastre deben concentrarse especialmente tras las etapas críticas. Se ha visto que en la mayoría de los casos el solo uso de agua es efectivamente positivo ya que arrastrará la mayoría de los restos y suciedad de la canal procedente de las etapas anteriores. De hecho, en Europa, el uso en alimentos de origen animal de cualquier otra sustancia distinta del agua potable no está

permitido, como establece el Reglamento (CE) 853/2004 (Anónimo, 2004b).

Pero existen opiniones que consideran que sería positivo algún agente sinérgico, más allá de bajar la temperatura del agua (lo cual facilitaría también la refrigeración), como el uso de algún agente desinfectante del agua. El desinfectante fundamental por excelencia del agua para consumo humano es el cloro, pero en los últimos años se están buscando más posibilidades, con mayor eficacia, y en este sentido se abrió hace muchos años la posibilidad de considerar el uso del dióxido de cloro, que es motivo de estudio en esta tesis. Cualquier sustancia que se pretenda usar en descontaminación de canales estaría sometida a estrictas prescripciones, y sólo podría ser aprobada por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), tras estimar su riesgo (Hugas y Tsigarida, 2008).

La descontaminación de canales de ave mediante agentes químicos está ampliamente utilizada diversos países fuera de Europa, como Estados Unidos y Canadá. El listado de sustancias que puede usarse para la producción de carne de aves en Estados Unidos se encuentra recogido por el Servicio de Inspección y Seguridad alimentaria de dicho país (FSIS, 2011).

El tratamiento del agua con cloro (hipoclorito sódico) es un método comúnmente utilizado para la potabilización de aguas de bebida de consumo animal, con el objetivo de reducir las concentraciones de microorganismos patógenos que puedan transmitirse por ella (Capdevila

y Bertrana, 2020). Según estos autores, el poder desinfectante del cloro radica en su elevada capacidad de oxidación. En presencia de agua, el cloro, bien en forma gaseosa (Cl_2) o como hipoclorito sódico (OClNa), reacciona para generar ácido hipocloroso (OClH) mediante el siguiente proceso de hidrólisis:

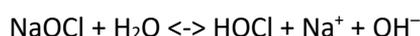


Figura 13. Proceso de hidrólisis del cloro. Fuente: Capdevila y Bertrana (2020)

El elevado poder oxidante del ácido hipocloroso generado, combinado con su bajo coste, supone que el cloro (principalmente en forma de soluciones concentradas de hipoclorito sódico, entre el 4 y el 15%) sea el principal desinfectante utilizado actualmente para tratamientos de potabilización de aguas de consumo, tanto humano como animal (Capdevila y Bertrana, 2020).

Sin embargo, el uso de cloro presenta algunos inconvenientes conocidos, como una elevada reactividad con sustancias orgánicas o amoniacales presentes en el agua, ocasionando reacciones oxidantes paralelas que, además de disminuir el contenido en cloro libre (y por ello su capacidad desinfectante) generan sustancias no deseadas, como cloraminas y trihalometanos (THM) (Burton y Fisher, 2001). De hecho, el RD 140/2003 establece un límite de 100 ppb para THM (Anónimo, 2003c). Las cloraminas, por su parte, tienen menor capacidad desinfectante.

Otro problema del uso del cloro es la producción de cloratos. Su presencia en los alimentos se ocasiona como subproductos residuales de los principios activos de ciertos productos clorados usados para la potabilización del agua y la desinfección de los alimentos, especialmente de origen vegetal (ACSA, 2020). De hecho, soluciones concentradas de hipoclorito sódico presentan una tendencia natural a la descomposición, generando estos productos (Capdevila y Bertrana, 2020). Su presencia en alimentos está limitada por el Reglamento (UE) 2020/749 que modifica el anexo III del Reglamento (CE) nº 396/2005 en lo relativo a los límites máximos de residuos de clorato en determinados productos, estableciendo LMR que varían entre 0'05 y 0'7 mg/kg, según el producto (Anónimo, 2005b; Anónimo, 2020).

Precisamente el agua, en este caso a través de la desinfección, es la vía por la que estos cloratos pueden llegar a los alimentos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un nivel de referencia de 0'7 mg/kg de clorato en agua potable. Dicho valor no se aplica legalmente en la Unión Europea, en la que la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, no fija ningún valor máximo para el clorato (Anónimo, 1998; Capdevila y Bertrana, 2020). Sin embargo, la Comisión Europea aprobó en febrero de 2018 una revisión de la Directiva sobre el agua potable y, en este proceso, ya hay una Resolución legislativa del Parlamento Europeo de 28 de marzo de 2019 donde, entre otros aspectos, se considera la fijación del contenido máximo de cloratos en agua en 0'25 mg/L (Anónimo, 2019a).

Otro aspecto a considerar entre las desventajas del uso del cloro en las condiciones habituales es la influencia del pH. Un pH inferior a 5 supone que todo el cloro está en forma de ácido hipocloroso (HOCl) pero, a medida que el pH aumenta, este ácido se disocia en hipoclorito (ClO^-), disminuyendo su efectividad con pH superiores a 7'0 (Capdevila y Bertrana, 2020).

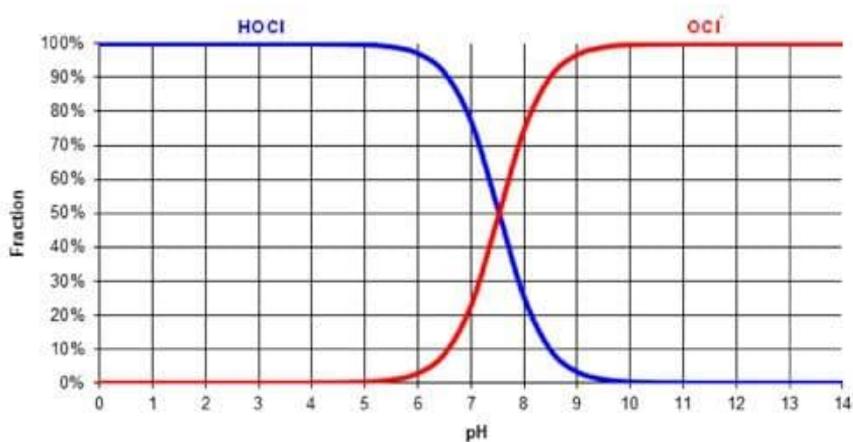


Figura 14. Concentración de HOCl y OCl en función del pH

Fuente: Capdevila y Bertrana (2020)

En este contexto es donde se consideran alternativas, como el dióxido de cloro (ClO_2), de diferente uso o no permitidas en función de distintas normativas estatales o de diferentes entornos legislativos, como ya hemos comentado. El dióxido de Cloro es una sustancia activa (dióxido de cloro generado de clorito sódico por acidificación) incluida en el Reglamento 528/2012 de biocidas, como tipo de producto TP5 para potabilización de aguas de consumo humano y animal (Anónimo, 2012a). De hecho, el dióxido de cloro se añade al agua potable para proteger a las

personas de bacterias y otros microorganismos perjudiciales (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de Enfermedades -TSDR-, 2020).

En relación con el caso concreto de la descontaminación en canales, la situación legal difiere según los países. En algunos países como Estados Unidos, Canadá o Australia desde hace años se han autorizado distintos procedimientos de descontaminación de canales tanto físicos como químicos, basándose en la consideración de que la contaminación de dichas canales es inevitable incluso con las mejores prácticas higiénicas, por lo que procede un tratamiento higienizante que permita reducir el riesgo para la salud del consumidor (González Fandos, 2014). Esta autora recuerda, sin embargo, que en la Unión Europea tradicionalmente no se ha permitido el empleo de ningún sistema de descontaminación de las canales distinto al duchado con agua potable, algo que ya hemos reflejado con anterioridad.

En general, el potencial de los descontaminantes químicos para causar efectos nocivos en la salud humana es una de las causas del rechazo de estos tratamientos antimicrobianos para eliminar la contaminación superficial de las canales de aves de corral en la Unión Europea (Alonso-Hernando y col., 2012). Cuando se añade dióxido de cloro en tratamientos de agua, se reduce de forma primaria a iones clorito y cloro, pudiendo pequeñas cantidades reducirse posteriormente a clorato (Burton y Fisher, 2001).

Específicamente, ha existido una controversia a lo largo de los años sobre el uso del dióxido de cloro en alimentos, basada en esta potencial

producción de cantidades perjudiciales de cloritos y cloratos o en su poder mutagénico. También por poder ocasionar otros restos de sustancias (Robinson y col., 1981). Tsai y col. (1995) estudiaron la posible formación de compuestos indeseables a partir del dióxido de cloro. Usado a niveles de desinfección de agua de enfriamiento -PCW- (0'30mM – 20mg/L), la mitad del ClO₂ se reducía a una mezcla de clorito (90%) y clorato (10%), coherente con lo reseñado por Burton y Fisher (2001). Sobre la base de la ingesta autorizada entonces de estas sustancias suponía un bajo riesgo en función de la producción de las mencionadas sustancias. En 1996 fue aprobado por la *U.S. Food and Drug Administration* y el USDA (*United State Department of Agriculture*) como desinfectante en agua de enfriamiento de canales (Tsai y col., 1997).

González Fandos (2014) aborda los aspectos legislativos que afectan a esta cuestión, relatando que en Europa la evaluación científica de los tratamientos descontaminantes de la carne se inició con dos informes del Comité Científico Veterinario sobre medidas relativas a la Salud Pública en los años 1998 y 2003 (SCVPH, 1998, 2003). En dichos informes se reconocía la utilidad de los tratamientos de descontaminación de la carne, pero como medios adicionales para reducir la carga microbiana y aplicados únicamente como parte de un programa de control integrado a lo largo de toda la cadena alimentaria. La EFSA emitió en los años siguientes diversos dictámenes científicos acerca de la eficacia e inocuidad de las sustancias para eliminar la contaminación microbiana de la superficie de alimentos de origen animal (EFSA, 2005; EFSA, 2006a; EFSA, 2006b; EFSA, 2008; EFSA, 2011a; EFSA, 2011b). En concreto en 2006, la Comisión pidió a la EFSA una actualización del dictamen anterior

emitido por el Comité científico de las medidas veterinarias relacionadas con la salud pública (SCVPH) los días 14 y 15 de abril de 2003 con respecto a los riesgos toxicológicos para la salud pública de los posibles productos de reacción del dióxido de cloro (como la semicarbazida), así como de otros productos (clorito sódico acidificado, fosfato trisódico y peroxiácidos), en su aplicación para las canales de aves de corral (Anónimo, 2006b). El Panel experto, sobre la base de los datos disponibles, y teniendo en cuenta que el procesamiento de las canales de aves de corral (lavado, cocción) tendría lugar antes del consumo, consideró que el tratamiento con fosfato trisódico, clorito sódico acidificado, dióxido de cloro o soluciones de peroxiácido, en las condiciones de uso descritas, no sería preocupante desde el punto de vista de la seguridad (Anónimo, 2006b), aconsejando la pulverización de canales mejor que la inmersión, y sin menoscabar las buenas prácticas de higiene y el reemplazo regular del agua de los baños de enfriamiento. Dos años después el comité técnico de EFSA para peligros biológicos (BIOHAZ) llegó a la conclusión de que, a pesar de una larga historia de uso, no había datos publicados que permitieran concluir que la aplicación de dióxido de cloro, como otros compuestos (clorito sódico acidificado, fosfato trisódico o peroxiácidos) usados para eliminar la contaminación microbiana de las canales de aves de corral en las condiciones de uso propuestas, pueda suponer la aparición de resistencia a los antimicrobianos terapéuticos (Andreoletti y col., 2008). En general, los dictámenes ponían de manifiesto la escasez de datos en relación con el posible riesgo de su utilización tanto para el consumidor como para el medio ambiente. En este sentido preocupa la posible aparición y diseminación de cepas de microorganismos resistentes a los antibióticos,

o la potenciación del crecimiento de los microorganismos patógenos más resistentes. Estas lagunas son una de las principales causas por las que se ha retrasado la autorización en la Unión Europea de diversos tratamientos de descontaminación de la carne (González Fandos, 2014).

De hecho, en la Unión Europea, el Reglamento (CE) n o 853/2004 establece normas específicas en materia de higiene de los alimentos de origen animal destinadas a los operadores de empresas del sector alimentario. Dispone que, para eliminar la contaminación de superficie de los productos de origen animal, dichos operadores no deben utilizar ninguna sustancia distinta del agua potable, a menos que el uso de la sustancia en cuestión haya sido autorizado con arreglo a dicho Reglamento (Anónimo, 2004b). En este sentido, un punto clave fue la Propuesta de Reglamento del Consejo por el que se aplica el Reglamento (CE) nº 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a la utilización de sustancias antimicrobianas para eliminar la contaminación de superficie de las canales de ave de corral (Anónimo, 2008b).

En dicha propuesta se establecía, para el uso de sustancias descontaminantes autorizadas (dióxido de cloro entre ellas), en su artículo 2 (transcripción literal): Artículo 2. Obligaciones de los explotadores de empresa alimentaria en relación con el uso de las sustancias autorizadas: *Los explotadores de empresa alimentaria solo aplicarán las sustancias autorizadas a canales enteras de aves de corral y no a partes de canales o piezas de aves de corral. Sólo aplicarán las*

sustancias autorizadas a canales de ave de corral en las condiciones establecidas en el anexo y de conformidad con los requisitos siguientes:

- a) no se producirá la aplicación simultánea o consecutiva de más de una sustancia autorizada a la canal de ave de corral;*
- b) cuando se utilice una sustancia autorizada más de una vez durante el proceso de producción, el tiempo total de contacto no deberá superar los periodos establecidos en los puntos 2, 3 y 4 del anexo.*
- c) cuando se utilice una sustancia autorizada en un depósito de preenfriamiento o de enfriamiento, la solución que contenga esa sustancia se sustituirá a intervalos regulares para mantener la concentración prescrita de la sustancia autorizada;*
- d) en un punto adecuado del proceso de producción posterior a la aplicación de la sustancia autorizada, la canal de ave de corral deberá enjuagarse con agua potable, incluido el interior de la canal de ave de corral eviscerada, para garantizar que dicha sustancia haya sido eliminada intencionadamente de tal modo que no tenga ningún efecto tecnológico en el producto final;*
- e) la eficacia del enjuague, que debe garantizar la ausencia de residuos de la sustancia autorizada o de posibles derivados de la misma en el producto final, deberá demostrarse científicamente mediante un seguimiento permanente adecuado;*
- f) la aplicación de la sustancia autorizada y el enjuague deberán efectuarse en la sala de sacrificio antes de introducir las canales de ave de corral en la sala de enfriamiento o de refrigeración (Anónimo, 2008b).*

A su vez, el Anexo de la propuesta especificaba para el dióxido de cloro un uso en una concentración máxima de 3 mg/kg de dióxido de cloro residual en el agua en los puntos del proceso de producción en los que se utilice. En caso de enfriamiento por inmersión a contracorriente continuada, el tiempo de contacto será proporcionado al tamaño de las canales de ave de corral y se evaluará en relación con la concentración de dióxido de cloro empleada (Anónimo, 2008b).

Esta propuesta de Reglamento usaba como antecedentes el dictamen científico de la EFSA (2008), ya mencionado con anterioridad, y que llegó a la conclusión de que en dicho momento no existían datos publicados que permitieran llegar a una conclusión, en cualquier sentido, con respecto a la aparición de una sensibilidad reducida a las sustancias evaluadas adquirida al aplicarlas en canales de ave de corral y a una resistencia a los antimicrobianos terapéuticos. También era un antecedente de la propuesta que el 31 de marzo de 2008, el Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSERI) y el Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Medioambientales (CCRSM), emitieran un dictamen conjunto sobre el impacto medioambiental y el efecto en la resistencia a los antimicrobianos de las cuatro sustancias utilizadas para eliminar la contaminación microbiana de superficie de las canales de ave de corral, concluyendo que no se dispone de suficiente información para elaborar evaluaciones cuantitativas exhaustivas, y que la posibilidad de que se propaguen o seleccionen cepas más resistentes suscita preocupación en relación con el medio ambiente; y, finalmente, dice el dictamen, el riesgo medioambiental estimado en relación con los posibles residuos en las

canales es bajo (Anónimo, 2008b). En definitiva, el 2 de junio de 2008 fue presentada al Comité Permanente de la Cadena Alimentaria y de Sanidad Animal una propuesta de Reglamento de la Comisión por el que se autorizaba el uso de cuatro sustancias para eliminar la contaminación de superficie de las canales de ave de corral y se establecían las condiciones en las que se pueden utilizar dichas sustancias, para que la sometiese a votación (Anónimo, 2008b). No se alcanzó consenso entre las autoridades competentes y el Consejo de la Unión Europea rechazó la propuesta mediante la Decisión del Consejo 121/2009 (Anónimo, 2009).

Entretanto, En 2006 el mencionado Panel de la EFSA BIOHAZ (Panel on Biological Hazards) junto a AFC (Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in contact with Food) habían elaborado una guía para la evaluación de sustancias destinadas a la descontaminación de superficies de alimentos de origen animal (EFSA, 2006c), documento que fue revisado en 2010 por el propio Comité BIOHAZ (EFSA, 2010). Es un documento útil para orientar acerca de los principales factores y datos que un expediente de evaluación debe contener en relación con la información técnica, evaluación de la seguridad y eficacia de las sustancias que se pretendan aplicar para la descontaminación (González Fandos, 2014). En 2013, el Reglamento UE 101/2013 autorizó la utilización de ácido láctico para reducir la contaminación de la superficie de las canales de bovino (Anónimo, 2013a).

Volviendo al caso concreto del dióxido de cloro, Berrang y col. (2011) aluden a la aprobación de este compuesto como tratamiento antimicrobiano durante el procesado de aves, y desarrollaron estudios al

respecto. En la bibliografía podemos encontrar estudios previos de eficacia frente a la contaminación en procesado de aves y sus productos (Lillard, 1980; Thiessen y col., 1984; Villarreal y col., 1990; Stopforth y col., 2007; Northcutt y col., 2008; Hecer y Guldás, 2011; Kijowski y col., 2013; Purnell y col., 2014; Guastalli y col., 2016; Duan y col., 2017; Gokmen y col., 2021). Rossi y col. (2021) han probado su eficacia solo o en combinación con ultrasonidos para ver su efecto sobre *Salmonella Typhimurium* y *E. coli* en el tanque de enfriamiento de canales de ave. En España, Alonso-Hernando y col. (2012; 2013a; 2013b; 2013c), han desarrollado experiencias a escala laboratorial de interés para discernir la eficacia del uso de diversos tratamientos de descontaminación, el dióxido de cloro entre ellos, a diferentes temperaturas o frente a diversos microorganismos, *Salmonella* entre ellos, e incluyendo consideraciones sobre sus inconvenientes. También se ha probado su eficacia en otros alimentos, como en productos del mar (Kim y col., 1998; Kim y col., 1999a; Kim y col., 1999b) o para canales de vacuno (Kocharunchitt y col., 2020). Incluso, podríamos extender las referencias a estudios frente a otros patógenos en cárnicos, como *E. coli* O157:H7 (Visvalingam y Holley, 2018). Capdevila y Bertrana (2020) consideran que el dióxido de cloro es una de las mejores alternativas en la actualidad disponibles, especialmente para potabilización de aguas de consumo.

El dióxido de cloro es un gas inestable que se descompone y volatiliza rápidamente, por lo que difícilmente puede ser comprimido, almacenado o transportado. Por ello, en la mayoría de las aplicaciones de desinfección o potabilización, el dióxido de cloro es generado in situ, mediante la

siguiente reacción de activación de clorito sódico con un ácido (habitualmente ácido clorhídrico):



Se considera que el dióxido de cloro inactiva los microorganismos alterando su sistema de transporte de nutrientes e interviniendo de manera disruptiva en su síntesis de proteínas tras penetrar en las células (Zweifel y Stephan, 2012). Su actividad antibacteriana parece estar menos contrarrestada por la materia orgánica que en el caso del cloro (Vandekinderen y col., 2009).

Capdevila y Bertrana (2020) destacan los principales beneficios que el uso del dióxido de cloro presenta para tratamientos de potabilización de aguas de consumo humano o animal:

- Excelente poder desinfectante, de amplio espectro, con un poder oxidante 2'6 veces superior al cloro, y en un amplio rango de valores de pH (4 a 9).
- Comparado con otros biocidas, el dióxido de cloro tiene un efecto considerablemente mejor y más rápido en la eliminación de patógenos, incluyendo virus, bacterias, esporas, algas y hongos.
- Mayor solubilidad en agua que el hipoclorito sódico, lo que permite obtener mayores rendimientos de desinfección. Por esta razón resulta altamente efectivo frente a los biofilms, penetrando en la capa de polisacáridos y destruyéndola.

- Menor reactividad y mayor selectividad, lo que le confiere una mayor rapidez de acción (necesidad de menores tiempos de contacto), y menor formación de compuestos indeseables (THM- o cloraminas) durante las reacciones de oxidación, ya que el ClO_2 no es reactivo frente a la materia orgánica. Presenta además una menor alteración organoléptica del agua tratada frente al cloro: no produce olor, color ni sabor.
- Es muy económico, gracias a sus bajas dosis de uso (su dosis habitual de potabilización es de 0'1 a 0'3 mg/L).
- Sus precursores cumplen las normas UNE-EN 938 (clorito sódico) y UNE-EN 939 (ácido clorhídrico) sobre productos químicos utilizados para el tratamiento del agua destinada al consumo humano.
- Se trata de un producto de fácil enjuagado y neutralizable, sin dejar residuo alguno, lo que minimiza el riesgo de contaminaciones.

El dióxido de cloro presenta también inconvenientes, y hay que considerar su exposición para las personas. La mayoría de las personas estarán expuestas al dióxido de cloro y a sus productos secundarios de desinfección (los iones de clorito) cuando consuman agua tratada con dióxido de cloro. Se ha indicado que el dióxido de cloro puede tener efectos mutagénicos cuando se usa para PCW (agua de enfriamiento para canales) en cantidades 4 veces superior al nivel requerido para desinfección (Tsai y col., 1997). La EPA ha establecido una concentración máxima permitida de dióxido de cloro en agua potable de 0'8 mg/L y 1'0 mg/L del ión de clorito (TSDR, 2020). Por su parte, la Decisión del Consejo en contra de la propuesta de aceptarlo como descontaminante en

canales de aves esgrimía en su preámbulo razones relacionadas con riesgo para el medio acuático, para la salud del personal que trabaja con aguas residuales y para el funcionamiento y las prestaciones de los sistemas de eliminación o de tratamiento de aguas residuales (Anónimo, 2009). El empleo de sustancias antimicrobianas que contengan cloro puede dar también lugar, continúa el Consejo, a la formación de compuestos cloroaromáticos, varios de los cuales son persistentes, bioacumulables o carcinógenos. También alude a la probabilidad de aparición de una reducción adquirida de la susceptibilidad a estos tipos de sustancias y de la posibilidad de resistencia a los antibióticos y otros agentes antimicrobianos empleados con fines terapéuticos, algo que sugieren investigar en profundidad (Anónimo, 2009).

Precisamente la continua alusión en los debates e informes diversos hasta ahora expuestos a la insuficiencia de datos que puedan ofrecer garantías de seguridad de uso, o de poder descartar los potenciales efectos perniciosos de su uso, así como la explícita consideración de la necesidad de más investigación a estos efectos, usamos este trabajo para considerar como una de las medidas el uso de ClO₂ en baja concentración. Más aún, y dado el uso del dióxido de cloro en países de importante relación comercial con Europa, este trabajo realizará pruebas en condiciones asimiladas a las comerciales (escala piloto). Se considera de interés dado que existe carencia de datos en procesados a escala industrial y la extrapolación de resultados experimentales a situaciones comerciales es limitada (Zweifel y Stephan, 2012). Estos autores destacan que las pruebas que examinan canales contaminadas inoculadas para su estudio tienden a sobreestimar la eficacia del desinfectante, debido en

parte a la insuficiente o inadecuada adherencia de las bacterias inoculadas a la superficie. Por ello, se requieren más datos evaluando la desinfección por agentes químicos en estrategias de control bajo condiciones comerciales (Zweifel y Stephan, 2012).

Dada la dificultad del uso del dióxido de cloro, cuya generación debe ser realiza “in situ” y la dificultad de adaptarlas a todas las etapas de lavado del proceso de sacrificio, en el presente trabajo, vamos a examinar el uso de este compuesto en agua en una de las etapas críticas, en concreto la etapa de lavado interior y exterior del canal justo tras la extracción de cuello. La elección de dicho punto para este estudio se debe, principalmente, a las siguientes consideraciones:

- Efectividad de arrastre, limpieza y desinfección de la canal. Esta efectividad se debe al importante caudal de agua y tiempo de contacto con la canal (unos 30 segundos, según una velocidad de cadena de unos 3000 animales/hora).
- Favorecimiento de la limpieza interior. Esta limpieza se produce por arrastre una vez se introduce el émbolo interior de limpieza, hecho favorecido por haber quitado el cuello en la etapa anterior.
- Se trata de un punto intermedio por lo que cualquier efecto oxidante en la canal podría ser revertido a su estado original debido a los lavados posteriores con agua cumpliendo los parámetros marcados por el Real Decreto 902/2018 del 20 de julio, relacionado con los criterios de calidad del agua de consumo humano (Anónimo, 2018). De hecho, se estudió

adicionalmente y con carácter previo a este estudio, el posible efecto que pudiese tener el uso de agua con dióxido de cloro a nivel organoléptico y de cambios físico-químicos en la canal mediante inmersión en agua a las concentraciones usadas en este estudio durante 5 minutos, no habiéndose observado cambios reseñables.

Para la evaluación del efecto de esta medida se usó como agente sinérgico la temperatura del agua.

4.4. Descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor

Como ya hemos tenido ocasión de avanzar, los principios fundamentales en que se basa el control de la contaminación microbiana durante el sacrificio se basan en procesos sanitarios e higiénicos (Buncic y Sofos, 2012). Sin embargo, incluso cuando se aplican las mejores prácticas higiénicas en el matadero, la prevención completa de toda contaminación microbiana de las canales es inalcanzable en condiciones comerciales (Buncic y Sofos, 2012). Por ello, los procesos de descontaminación se hacen fundamentales con el objetivo de alcanzar los estándares cada vez más exigentes y las garantías sanitarias en los productos obtenidos en matadero.

Tras la evisceración corresponde un lavado interior y exterior de la canal, para arrastrar los restos de materia adheridos, mejorar las condiciones higiénicas de las canales y reducir (descontaminación) la

presencia microbiana, particularmente los potenciales patógenos presentes.

Salmonella y *Campylobacter* son los microorganismos que han cobrado especial protagonismo en la industria avícola desde el punto de vista de control de patógenos. De hecho, el creciente interés de los últimos 20 años en innovar los métodos de descontaminación de las canales de aves se basa no sólo en la presencia de *Salmonella*, sino en los riesgos derivados de la campilobacteriosis (Loretz y col., 2010). Estos autores consideran como principales métodos físicos de descontaminación los basados en agua caliente, vapor, agua electrolizada e irradiación, y apuntando que las reducciones obtenidas por la aplicación de vapor oscilaban entre 2'3 y 3'8 órdenes de magnitud, si bien ya avanzaban los posibles daños en la apariencia de las canales como su principal inconveniente.

Autores como Morgan y col. (1996) ya apuntaron experiencias en el desarrollo de mecanismos para realizar una pasteurización superficial de la carne de aves, en este caso para reducir la presencia de *Listeria innocua* inoculada experimentalmente, tras una aplicación de muy alta temperatura en muy corto tiempo, seguido de un enfriamiento también ultrarrápido. Era algo que ya se había probado en productos cárnicos (salchichas) de otras especies (Cygnarowiczprovost y col., 1994).

Avens y Morton (1999) y Avens y col. (2002), ya compararon la aplicación de agua hirviendo y vapor fluente sobre canales de pavo y pollo. A lo largo de los siguientes años aparecen ya diferentes trabajos

que, como tratamiento aislado o combinado, o en comparación con otros métodos, usan la aplicación como descontaminante en canales de aves (Whyte y col., 2003; Lecompte y col., 2008; Chaine y col., 2013).

Klein (2010) revisa medidas de control contra *Campylobacter* en el procesado de aves, y ya menciona la combinación de vapor y ultrasonidos, que comentaremos posteriormente, como un avance en desarrollo. Cil y col. (2019) realizan experiencias de aplicación de vapor en combinación con ácido láctico. Kang y col. (2022), combinan spray de agua caliente con un enfriado salino subcero.

En general, el tratamiento de descontaminación con vapor o agua caliente de las canales de pollos de engorde se ve dificultado por las limitaciones del proceso debidas a los prolongados tiempos de tratamiento y a los cambios adversos en la epidermis (Musavian y col., 2014).

En nuestro trabajo, el proceso ensayado de aplicación de vapor se realiza inmediatamente después de la evisceración, y anteriormente a la colocación de la canal en percha, última etapa justo antes de entrar en el oreo, donde apenas hay manipulación posterior, y en su caso siempre con extremas precauciones higiénicas para evitar una contaminación secundaria o cruzada.

En este tipo de tratamiento, el vapor es producido en una cabina generadora específica para su aplicación indirecta, es decir, creando una nube que supone un ambiente higienizante, mantenido el contacto con

la nebulosa de vapor las canales durante un tiempo determinado a una temperatura seleccionada. Si las condiciones de la cabina piloto de aplicación de vapor se usan en ensayos como los que presentamos en este trabajo, debe tenerse presente su posible y posterior adaptación industrial. Esa es la razón de usar tiempos adaptados a la velocidad de la cadena de este tipo de industrias en matadero. Esta velocidad suele estar como mínimo entre 2500 a 4000 pavos/hora, para lo cual se hace necesaria una cabina de unos 15-20 metros de longitud, para garantizar tanto el tiempo necesario de contacto como la temperatura en su interior mediante su aplicación indirecta.

No existen muchas referencias de trabajos con el uso de este tipo de tecnología, aunque James y col. (2007) ya usan una cabina a escala piloto para un estudio de descontaminación de canales de aves usando vapor o agua caliente en combinación con un rápido enfriamiento o congelación superficial. Posteriormente, Musavian y col. (2014) realizan un estudio combinando ya vapor con ultrasonidos (SonoSteam™) en pollos de engorde contaminados de forma natural que se procesaron a velocidades de sacrificio convencionales de 8.500 aves por hora en una planta danesa de pollos de engorde.

Más recientemente, Kure y col. (2020) han descrito una experiencia a escala piloto en una cabina experimental prototipo (Deconizer) de descontaminación (con datos de reducción de *Salmonella* Enteritidis y *Campylobacter jejuni*, además de microorganismos aerobios), tratando la canal y obteniendo muestras de pechuga, exterior del muslo y alas. También Musavian y col. (2022) realizan un estudio diseñando un

dispositivo con capacidad para tratar 10.500 aves por hora. En dicho estudio usan contaminación experimental y como parámetros *Campylobacter*, enterobacteriáceas y microorganismos viables totales.

Para garantizar una correcta descontaminación hay que tener en cuenta cuál es el umbral de temperatura a partir del cual se inactivan los dos patógenos mencionados, sin con ello dañar las canales. Obviamente, a mayor temperatura mayor será la reducción de la contaminación, pudiendo llegarse a la total desinfección, que sería el objetivo idóneo. Dado que a temperaturas superiores a 65°C se inactiva *Campylobacter* y *Salmonella* a 70°C, se plantean dichas temperaturas como puntos inferiores de ensayo para reducir su prevalencia. En relación con el tiempo de contacto para que el vapor llegue a ejercer su labor de penetración a través de la piel y en la canal, debe ser compatible con la velocidad de la cadena del proceso productivo, por lo que este parámetro es de vital importancia definirlo desde el principio.

Otro factor importante es la fuente generadora de vapor, ya que no es lo mismo vapor directo que indirecto para conseguir los objetivos, por su posible influencia en la calidad final de la canal.

Para ello, la tecnología *SonoSteam* anteriormente mencionada (patente europea EPO; 02 722 020.12113) está preparada para combinar vapor y ultrasonidos, producidos simultáneamente mediante boquillas especialmente diseñadas (Musavian y col. (2014)). El sistema permite seleccionar distintas formas de aplicar el vapor, también de forma no directa, proporcionando procesos de descontaminación microbiana

eficientes y sin uso de compuestos químicos (SANOVO, 2023). Esta tecnología está pensada para superficies, incluyendo las de tipo alimentario.

Las cabinas especialmente construidas que mejoran el sistema de desinfección *SonoSteam* tienen otros usos alimentarios, que incluyen carnes, frutas, huevos, verduras y productos lácteos, así como productos no alimentarios como transportadores, cajas de alimentos, bandejas, carros, cajas, cuchillos de corte, etc. (SANOVO, 2023).

5. OBJETIVOS

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

El objetivo general del estudio realizado es hacer descender la contaminación de *Salmonella spp.* en la fase de matadero.

Para alcanzar este objetivo, el cual se persigue desde la fase de producción, y en particular, se valoran en este trabajo las medidas de control aplicadas en la etapa de matadero. Con dichas medidas, tomadas en un matadero industrial durante el periodo 2016-2022, se pretende que disminuya la prevalencia de *Salmonella spp.* en la producción de carne de pavo.

Estas medidas, unidas a las estudiadas en una tesis anterior dentro de la misma empresa (Cano, 2020), y para la fase de producción previa a la entrada a matadero, se pretende que, reduciendo el número de casos positivos de *Salmonella*, se puede reducir la presión de la infección por *Salmonella* en el medio ambiente y en las aves (Van Immerseel et al., 2009).

5.2. Objetivos específicos

Para la consecución del objetivo general en el estudio se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Establecer medidas que permitan obtener una reducción de la contaminación de *Salmonella* durante los procesos seguidos en el matadero.
- Evaluar los parámetros fundamentales que afectan a una correcta limpieza y desinfección de las jaulas, particularmente la temperatura y la conductividad.
- Ensayar y valorar diferentes tratamientos basados en la temperatura y el pH del agua de escaldado.
- Evaluar los resultados de la descontaminación de canales mediante agua tratada con bajas concentraciones de dióxido de cloro.
- Evaluar la descontaminación de canales por aplicación de vapor de modo indirecto.

MATERIAL Y MÉTODOS

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Mejora de parámetros en el lavado de jaulas

Considerando como proceso de partida para el lavado el proceso descrito en el apartado 4.3, de acuerdo con Christeyns (2023), tomaremos en consideración los parámetros fundamentales que afectan a una correcta limpieza y desinfección, particularmente la temperatura y la conductividad. En el caso de la temperatura, evaluaremos varias temperaturas para realizar una correcta acción desengrasante-desinfectante, teniendo en cuenta que existe un factor limitante de la misma que es la “corrosión” de las jaulas de transporte, que son de hierro galvanizado.

Por su parte, el control de la conductividad es pertinente debido al uso de un detergente alcalino-clorados que son los recomendables para este tipo de lavados, regulándose la cantidad de producto en función de la conductividad. Obviamente, es requisito previo un correcto uso de la máquina de lavado, en relación con el número de boquillas, orientación de las mismas, presión, etc., con lo cual, una vez contrastado el correcto funcionamiento de estos parámetros, el estudio se centra en el estudio de los dos parámetros mencionados para conseguir la eficacia de la limpieza y desinfección. Otro factor importante sería el tiempo, pero dado que al final el lavado se debe realizar a ritmo de cadena, siempre existirá un tiempo definido (1 min 45 segundos), repartido de la siguiente forma:

- Retirada sólida inicial: Solo con agua. Tiempo: 30 segundos.
- Aplicación de detergente alcalino: Spectak BPC VC101, a base de hidróxido sódico (NaOH) mezclado con agua (30-50%). El producto está clasificado y etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) Nº 1272/2008 (Anónimo, 2008c). Tiempo de aplicación: 40 segundos.
- Aclarado: Solo con agua. Tiempo: 25 segundos.
- Aplicación de desinfectante: 10 segundos.

En la presente experiencia eliminamos este último paso por dos motivos: a) Al ser una etapa inicial donde existe tanta materia orgánica, el tratamiento principal es la retirada de restos sólidos y la limpieza de la jaula; b) La jaula, una vez lavada, pasa junto con el camión por un lavadero de camiones autorizado, donde se realiza una desinfección más exhaustiva en conjunto con el transporte, usándose un desinfectante con base de ácido peracético al 15%).

Para la monitorización, además de la inspección visual siempre necesaria y presente en cualquier procedimiento de verificación de limpieza y desinfección, se usará el control de los siguientes parámetros microbiológicos (considerados de manera equivalente a la exigencia de producto terminado):

- *Salmonella* spp: Ausencia en 25g
- *Listeria monocytogenes*: Ausencia en 25g
- Aerobios Mesófilos: 10^6 ufc/cm² (CENAN, 1982)
- Enterobacterias: $5 \cdot 10^3$ ufc/cm² (CENAN, 1982)

Si bien los indicadores de calidad higiénica para mataderos avícolas (según recomendaciones del CENAN) siempre han sido Aerobios mesófilos y enterobacterias, dada la importancia que adquieren en el análisis de peligros en este tipo de instalaciones y sobre todo en etapas iniciales patógenos como *Salmonella* (al ser intrínseco de la propia ave) y *Listeria* (debido a la resistencia que puede tener una vez se forman biofilms), consideramos el conjunto de estos parámetros fundamental para una correcta monitorización de limpieza y desinfección. Para la determinación de dichos patógenos e indicadores usaremos los métodos descritos en los apartados 6.5, 6.6 y 6.8.

Esta parte del estudio se ha realizado en época invernal, donde existe más acumulación de materia orgánica en las jaulas debido a las condiciones de humedad en las que se encuentran los animales en granja. No debemos olvidar que esta materia está compuesta por excrementos y restos de plumas del propio animal. En todos los casos se tomaron muestras en tres fases, para verificar el correcto funcionamiento del equipo y su eficacia a lo largo del tiempo:

- Inicio (t_0): Justo en la primera hora del proceso de sacrificio.
- Mitad (t_{i+8}): Cuando han transcurrido 8 horas desde el comienzo del proceso de sacrificio.
- Final (t_{i+16}): Cuando han transcurrido 16 horas desde el inicio del proceso de sacrificio.

Cada control se realizó en un mismo día, tomando tres jaulas antes y después de cada tipo de lavado en función de los parámetros a

estudiar. Para la toma de muestras de superficies se usaron toallitas estériles (WIPES, bioMérieux ref. CHI100N), envasadas unitariamente. Cada envase contiene una servilleta de algodón estéril (200mm x 250 mm) impregnadas por una solución isotónica que permite evitar los choques osmóticos en el momento del muestreo). Las toallitas se frotaron siempre por la superficie de tres baldas (parte de arriba, la del medio y la inferior) para tener un muestreo representativo de cada jaula. Dicha toallita una vez muestreada se disolvió en 225 ml de agua de peptona tamponada en el interior de bolsas estériles. Tras este paso, se continuó con el protocolo de detección que se describe para cada parámetro microbiológico considerado.

6.2. Tratamiento del agua de escaldado

6.2.1. Diseño y condiciones ensayadas para esta medida

Antes de probar las modificaciones de las condiciones del agua en el tanque de escaldado, analizamos el estado previo de los parámetros microbiológicos (indicadores microbianos -Bacterias Aerobias Mesófilas y *Escherichia coli*- y *Salmonella*), durante una semana de trabajo (seis días) en una línea piloto de matadero de pavos en condiciones reales de producción. Se tomaron muestras en cinco momentos del día (6.00h, 12.00h, 14.00h, 16.00h y 20.00h), para evaluar la evolución de estos parámetros a través del tiempo de escaldado. La temperatura del agua del tanque de escaldado fue de 52°C, habitual en este tipo de procesos de sacrificio (Schilling y col., 2014; Barbut, 2015). El tiempo de inmersión

de las canales en el tanque de escaldado fue de 3 minutos, durante los cuales las canales ya desangradas realizan un movimiento a contracorriente con el agua de escaldado, de modo que la materia orgánica adherida a las plumas es arrastrada y se va depositando en la cuba de escaldado.

Según la legislación europea, el sacrificio se organiza en función de la prevalencia de *Salmonella* en las granjas. Los pavos de las granjas positivas a la *Salmonella* se sacrifican al final del proceso.

A lo largo de la experiencia, el tanque de escaldado se llena todos los días con agua limpia y se renueva continuamente con 1-1,5 l/ave.

Para la toma de muestras se utilizaron frascos estériles (125 ml). Las muestras se tomaron del centro del agua del tanque de escaldado para garantizar la homogeneidad de las condiciones del agua en relación con los parámetros a estudiar.

6.2.2. Calentamiento del agua de escaldado

Tras el paso descrito en el apartado 7.1.3.1., la experiencia se repitió en dos ocasiones, aplicando a la mitad de la jornada laboral (justo antes del tercer punto de muestreo), un aumento de la temperatura del agua (hasta los 60°C y 70°C, respectivamente) durante 15 minutos para evaluar la tendencia de los recuentos de los microorganismos indicadores y la presencia de *Salmonella*. El calentamiento se realiza mediante la aplicación de vapor caliente, sin canales en el agua de escaldado, para

evitar deteriorar la piel de las mismas. Después de este tratamiento, la temperatura vuelve al parámetro habitual de escaldado (52°C), añadiendo agua limpia a 15°C (normalmente se necesitan 15 minutos para volver a estas condiciones).

Un resumen de este diseño se muestra en la siguiente Figura:

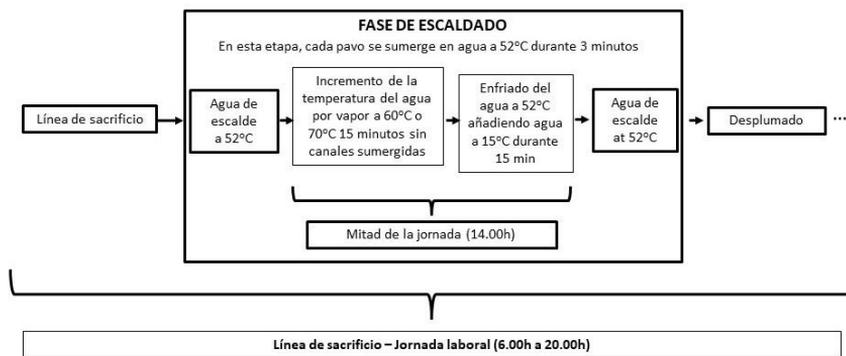


Figura 15. Diseño del tratamiento del agua de escaldado aumentando por choque de temperatura sin canales sumergidas

6.2.3. Acidificación del agua de escaldado

Se realizaron siete experiencias a diferentes pH iniciales () para evaluar la influencia en la evolución de los parámetros estudiados a lo largo de la jornada de sacrificio, tomando muestras cada 2 horas, y partiendo de la hipótesis de que los depósitos de materia orgánica a lo largo del proceso aumentan progresivamente el pH del agua.

Se utilizó una mezcla de ácidos (ácido glicólico con un máximo de 10% de ácido sulfúrico) para ajustar el pH inicial del agua de escaldado.

La acidificación se llevó a cabo mediante el bombeo de diferentes volúmenes de ácido, según el valor inicial del pH.

6.3. Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro

6.3.1. Tratamientos y organización temporal

El presente estudio se realizó a lo largo de tres semanas, durante un mes de febrero, realizando un tratamiento cada una de dichas semanas:

- Semana 1. El tratamiento se realizó con agua de lavado normal usando agua con cloro libre residual entre 0'1-1 ppm, de acuerdo con el RD 902/2018 (Anónimo, 2018).
- Semana 2. Agua de lavado con dióxido de cloro (0'5 ppm).
- Semana 3. Agua de lavado con dióxido de cloro (1 ppm).

Se usó una línea piloto, en las condiciones habituales de producción, 3 días en semana (lunes, miércoles y viernes).

6.3.2. Muestreo

Se tomaron muestras del interior de la canal (usando toallitas estériles) y del exterior de la misma (muestras de carne y piel usando un cuchillo previamente desinfectado), antes y después del lavado con el correspondiente tratamiento. Las muestras se tomaron al inicio, a mitad

y al final de la jornada de sacrificio. La jornada es de 16 horas, siendo t_0 el momento inicial, t_8 el momento a mitad de jornada y t_{16} el final de la misma. Así, tenemos:

t_0 : 3 muestras internas de canales antes del lavado / 3 muestras externas de canales después del lavado.

t_8 : 3 muestras internas de canales antes del lavado / 3 muestras externas de canales después del lavado.

t_{16} : 3 muestras internas de canales antes del lavado / 3 muestras externas de canales después del lavado.

La nomenclatura para la descripción de los resultados será:

IA: Muestras interiores antes de los lavados

EA: Muestras exteriores antes de los lavados

ID: Muestras interiores después de los lavados

ED: Muestras exteriores después de los lavados.

En todos los casos, la temperatura de agua de lavado se mantiene entre 0-5°C para conseguir el efecto sinérgico anteriormente citado.

6.3.3. Parámetros microbiológicos de control

Se usaron los siguientes parámetros microbiológicos de control, con los límites reseñados:

- *Salmonella* spp: Ausencia en 25g. Patógeno de control fundamental en industrias avícolas y regulado por el Reglamento

2073/2005 (Anónimo, 2005c). Se siguió la metodología descrita en el apartado 7.5.

- *Campylobacter*: Es un patógeno emergente también muy presente en la industria avícola, aunque no está regulado para pavos, solo para broilers. Para la interpretación de la efectividad del método se consideró un límite de 10^3 ufc/g (Anónimo, 2017). Se siguió la metodología descrita en el apartado 7.6.
- Aerobios Mesófilos: Para la interpretación de la efectividad del método se consideró un límite de 10^6 ufc/g (CENAN, 1982). Se siguió la metodología descrita en el apartado 7.7.
- *E. coli*: Para la interpretación de la efectividad del método se consideró un límite de $5 \cdot 10^2$ ufc/g (CENAN, 1982). Se siguió la metodología descrita en el apartado 7.7.

6.4. Descontaminación de canales por aplicación de vapor

6.4.1. Diseño del estudio

La valoración de la descontaminación de canales por aplicación de vapor se ha desarrollado tanto en interior como en exterior, antes y después del tratamiento, variando las condiciones de tiempo y temperatura. En este sentido, se han realizado cinco ensayos, incluyendo las condiciones más extremas de temperatura y tiempo, comenzando por las más extremas, para evaluar cuál se ajusta más a los objetivos perseguidos, teniendo siempre en cuenta que puedan ser extrapolables finalmente a la cadena de producción.

Tabla 1. Condiciones ensayadas para la descontaminación de canales por aplicación de vapor (tiempo expresado en segundos).

	1	2	3	4	5
Tiempo	20s	20s	20s	15s	10s
Temperatura	100°C	90°C	80°C	70°C	65°C

Todos los ensayos se han realizado con una cabina prototipo con tecnología *SonoSteam*, que produce a través de unas boquillas y rejillas diseñadas vapor alimentario y por lo tanto pasa por los filtros pertinentes, con lo cual se consigue una nube que envuelve la canal tanto exterior como interiormente. Así, con el tiempo de contacto necesario, se produce un tratamiento térmico con capacidad bactericida por efecto de la temperatura, aunque en este caso siempre con una temperatura constante en la cabina, en función de cada ensayo.

Las dimensiones del dispositivo SonosTeam se describen a continuación: Un área de servicio (Ventilador y rejilla), 7-15m², rejilla de 5-12m² y sistema de 15-26m². El ventilador y rejilla miden 1,6m x 3,5m x 0,7m (alto x largo x ancho). La rejilla, 1,3m x 2,2m x 0,7m y el sistema 2,5m x 4,2m x 3,6m.

El diseño de la cabina ha partido de la definición de los tiempos de contacto de la nebulosa de vapor con las canales, que deben estar adaptados a la velocidad de la cadena de producción. En función de estas premisas, y para garantizar un tiempo de contacto adecuado, se estimó el diseño sobre contactos de entre 10 y 20 segundos, como ha quedado definido en la descripción de cada uno de los ensayos.

6.4.2. Muestreo

Las canales destinadas a la toma de muestras se separaron al final de la jornada de sacrificio, concretamente en la última hora, tras 15 horas de actividad, considerando así las condiciones higiénicas más desfavorables. Se tomaron 5 canales, y se tomarán muestras tanto de la cavidad interior como del exterior de las mismas, antes y después de cada tratamiento.

Para la toma de muestras de la superficie externa se tomará un trozo de la pechuga junto a la piel, ya que es la parte más representativa de la canal. Se toma piel y carne para estudiar el grado de penetración y el efecto de la nube de vapor desinfectante.

Para las muestras de superficies internas, se usan toallitas estériles. Las toallitas están envasadas unitariamente en un envase que contiene una servilleta de algodón estéril 200 mm x 250 mm, impregnada por una solución isotónica que permite evitar los choques osmóticos en el momento del muestreo. Las toallitas se frota por el interior de la cavidad de la canal desde la cloaca, una vez que ha sido completamente eviscerada. Cada toallita, una vez tomada la muestra, se disuelve en 225 ml de agua de peptona tamponada en una bolsa estéril.

6.4.3. Parámetros microbiológicos y organolépticos de control

Los criterios para los parámetros microbiológicos a evaluar con y sin tratamiento serán:

- *Salmonella* spp: Objetivo, ausencia en 25/g, de acuerdo con el Reglamento 2073/2005 (Anónimo, 2005c).
- *Campylobacter*: Límite de 1000 ufc/g, de acuerdo con el Reglamento 2017/1495 (Anónimo, 2017).
- *E. coli*: Límite de 500 ufc/g, de acuerdo con las recomendaciones del CENAN para producto terminado (CENAN, 1982).

Además, se realizará una inspección visual (organoléptica) acerca del aspecto: existencia o no de quemaduras tanto de la piel como de la carne, aparte de oxidación interna de la canal en su interior por el efecto de la temperatura. En caso de observarse incidencias, se especificará como:

- Quemado superficial (si sólo piel): QS
- Quemado superficial completo (piel y carne): QT
- Quemado interior: QI
- Oxidación interior y ennegrecimiento: OE
- Estado correcto: OK

A lo largo del experimento (tres veces), se realizaron pruebas sensoriales rutinarias en las canales (o piezas cortadas) tras el procesado, el lavado y tras 24 horas de oreo a 0-4°C (temperatura de corte). Estas pruebas se realizaron sobre muestras sometidas a las condiciones de tratamiento más severas. Se tomaron veinte muestras: diez canales enteras (se estudiaron las superficies exteriores y las cavidades interiores tras la evisceración) y diez para despiece (se estudiaron las pechugas y los

muslos, las principales piezas de despiece). Las canales enteras se conservaron con piel y las piezas de despiece sin piel. Durante siete días (el periodo de conservación habitual de este tipo de producto), un panel controló los parámetros. Para ello, se tomaron 100 gramos de cada muestra, sin piel, siempre de la misma zona y con el mismo grosor.

Los parámetros que se evaluaron fueron: aspecto general (normal, pérdida de frescura, superficie limosa u otros), integridad de la carne (normal, PSE, DFD u otros), color (normal, pálido, ennegrecido, aparición de manchas, ennegrecimiento del hueso, zonas verdosas u otros), olor (normal, moho, ácido, podrido u otros) y sabor (normal, ácido, carne endurecida, jugosa u otros).

6.5. Determinación de *Salmonella*: VIDAS®

El análisis de *Salmonella* se ha realizado mediante una técnica ELFA (Enzyme Linked Fluorescent Assay) (VIDAS®, bioMérieux, Madrid, España).

En concreto, se aplica el protocolo desarrollado para la detección de este patógeno, usando el equipo VIDAS® para *Salmonella* – VIDAS® UP SALMONELLA-. Se trata de un ensayo cualitativo automatizado que permite detectar *Salmonella* en productos de alimentación humana y animal, en muestras de ambientes de producción y en muestras de producción primaria (Cano, 2022). Se usó de acuerdo con la norma ISO 16140, y siguiendo el protocolo habitual (Bird y col., 2013).

En estos ensayos ELFA, la enzima fosfatasa alcalina descompone el sustrato (4-metil-umbeliferil fosfato) en un producto fluorescente (4-metil-umbeliferona) (Banada y Bhunia, 2008).

El protocolo seguido es coincidente con el empleado en el trabajo previo (Cano, 2022) para el estudio de la disminución de la contaminación de la contaminación de Salmonella en la fase productiva previa a matadero, dentro del proyecto global que la empresa ha seguido con la Universidad de Córdoba y el ceiA3.



Figura 16. Cartuchos y conos VIDAS®. Fuente: Cano (2020)

Para cada análisis con VIDAS® UP SALMONELLA se dispone de un cono, o recipiente de fase sólida (SPR®, Solid Phase Receptacle) que actúa al mismo tiempo como fase sólida y como sistema de pipeteo, y de un cartucho que contiene, listos al empleo, los reactivos necesarios para el ensayo.

Una alícuota del caldo de enriquecimiento se dosifica en el cartucho y, de forma automática, el equipo realiza varias aspiraciones y expulsiones con el cono (Cano, 2020).

El cono está cubierto en su interior por proteínas específicas para los receptores de *Salmonella*, de manera que las proteínas conjugadas con la enzima se unirán a dichos receptores en cada ciclo (aspirado y expulsión). Con la realización de diversos lavados posteriores se elimina el conjugado no ligado a receptores de *Salmonella*.

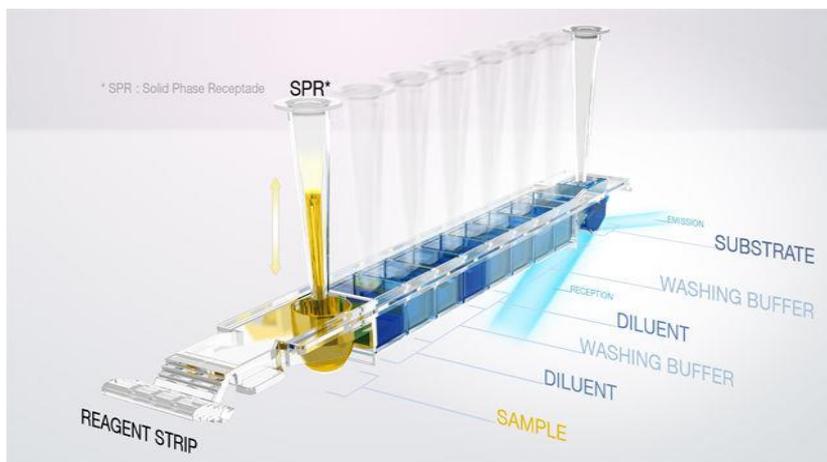


Figura 17. Contenido de los diferentes pocillos del cartucho empleado en el ensayo VIDAS®. Fuente: *bioMérieux*

El último pocillo del cartucho contiene 4-metil-umbeliferil fosfato, que también es aspirado y expulsado del SPR®. La fosfatasa alcalina conjugada que había sido retenida lo degrada generando 4-metil-umbeliferona.

Dicha 4-metil-umbeliferona es el producto fluorescente que emite señal a 450nm, siendo detectada en el espectrofluorímetro del equipo VIDAS. La fluorescencia será proporcional a las cantidades de antígenos unidos a anticuerpos (Raugel, 2012).

En el Anexo I del Reglamento 2073/2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios, se indica que el método analítico de referencia para *Salmonella* es EN/ISO 6579.

No obstante, pueden usarse métodos analíticos diferentes a los de referencia, los cuales se autorizarán si están validados respecto al de referencia (Anónimo, 2005c).

VIDAS® está validado según normas de referencia ISO y el protocolo de *Salmonella*, en concreto, está validado por AFNOR según ISO 16140 (UNE-EN ISO 16140 - Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Protocolo de validación de métodos alternativos). También está validado por la AOAC (AOAC 2013.01).

Para la preparación y análisis de las muestras el procedimiento seguido es el usado por Cano (2022):

1. Se realizan las diluciones oportunas, añadiendo agua de peptona.
2. Una vez añadida el agua de peptona, se añade suplemento de enriquecimiento selectivo para *Salmonella* (Salmonella SUPP, bioMérieux ref. 42650). La cantidad de suplemento es de 2 ml por cada 25g de muestra.
3. Posteriormente, se introduce la bolsa en un homogeneizador (Stomacher®, Seward) para que la muestra se mezcle de manera adecuada con el medio suplementado.
4. Se incuban las bolsas durante 18-24 horas, a $41'5 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

5. Concluida esta fase de incubación se pasa 1ml de muestra a 9ml de caldo SX2 (bioMérieux ref. 42121). Se trata de un caldo para enriquecimiento selectivo de *Salmonella*, que se emplea para muestras de ambientes de producción primaria.
6. Los tubos de caldo SX2 con 1ml de muestra se incuban nuevamente, durante 6-24 horas, a $41'5\pm 1^{\circ}\text{C}$.
7. Posteriormente, tras esta fase de incubación, se adicionan 500 μl de muestra en un cartucho de detección de *Salmonella* (VIDAS[®] UP Salmonella SPT, bioMérieux ref. 30707), que se atemperará durante 5 ± 1 minutos, en VIDAS[®] Heat&Go (bioMérieux, Madrid, España). Éste es un sistema calefactor (calor seco), diseñado para calentar de forma sencilla los cartuchos de detección del sistema VIDAS[®].
8. Una vez atemperados los cartuchos, se introducen en el equipo inmunoanalizador, en el cual se realizan de manera automatizada todas las etapas del análisis una vez seleccionada la solución VIDAS[®] SPT. El resultado se obtiene en 48 minutos.
9. Los resultados positivos (presencia de *Salmonella*) se deben someter a confirmación con procedimientos que empleen medios de cultivo. Hasta que se complete el procedimiento de confirmación, un inmunoensayo positivo debe considerarse sólo un resultado presuntivo. (Dwivedi et al., 2014). La confirmación se lleva a cabo realizando una siembra en un medio cromogénico selectivo de *Salmonella* (AGAR ASAP[™], bioMérieux ref. AEB520090) de una alícuota de la muestra. El agar se incuba a $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 3 horas.

Las colonias características son de color rosa púrpura, debido a la degradación del sustrato por la enzima C8-esterasa, característica del género *Salmonella*. Estas colonias, a su vez, se confirman tomando 5 de ellas, mediante un test de aglutinación con látex específico para *Salmonella* (*Salmonella* spp. látex kit, bioMérieux ref. MGNF42).

6.6. Determinación de *Listeria*

La determinación de la presencia de *Listeria monocytogenes* se llevó a cabo mediante el sistema VIDAS® LMX, un ensayo cualitativo automatizado, consistente en un inmunoensayo enzimático que se realiza en los equipos de la gama VIDAS® para la detección de antígenos de *Listeria monocytogenes* mediante la técnica ELFA (Enzyme Linked Fluorescent Assay), es decir, mediante ensayo de fluorescencia ligado a enzima. Describimos a continuación el procedimiento seguido.

En una bolsa de homogeneización con filtro se introducen asépticamente (usando tijeras y pinzas flameadas) 25 g de muestra. A continuación, se añade 1 frasco de Caldo LMX, obteniendo así una dilución 1:10. Este caldo previamente es suplementado con 500 µl del suplemento para Caldo LMX. Posteriormente, muestra y diluyente se mezclan en el homogeneizador de palas. A continuación se incuba la muestra durante 26-30 horas a 37±1°C. Tras la incubación se transfieren, previa agitación manual del contenido de la bolsa, 250µl del caldo de enriquecimiento al pocillo para la muestra del cartucho. Se transfieren 3-6 ml a un tubo de ensayo y se calienta en baño María durante 5±1 minutos

a 95-100°C. Una vez que el contenido del tubo se ha enfriado, se mezcla en vórtex y se transfieren 250µl al pocillo para la muestra del cartucho VIDAS®. Por último, se realiza el test VIDAS®.

La expresión de resultados se realiza tras completarse los 80 minutos que requiere el test de VIDAS® LMX. El resultado obtenido será negativo (se expresaría como *ausencia* de *L. monocytogenes*), o positivo, expresándose en este caso como *presencia* de *L. monocytogenes*.

6.7. Determinación de *Campylobacter*

Para el recuento de microorganismos del género *Campylobacter* se ha utilizado un recuento en medio CampyFood Agar (bioMèrieux, Madrid, España), de acuerdo con la vía reconocida por la norma ISO 10272-1. El procedimiento se describe a continuación:

En una bolsa Combibag, por el lado contrario al bolsillo, se introducen asépticamente (usando tijeras y pinzas flameadas) 25g de muestra. A continuación, se añade el contenido de una bolsa de Caldo Campyfood Minibag (bioMèrieux, Madrid, España), obteniendo así una dilución 1:10. La muestra y el diluyente se mezclan en un homogeneizador de palas (Stomacher, Seward). La parte superior de la bolsa, donde está el bolsillo, debe permanecer seca. Para ello, la bolsa se introduce en el homogeneizador de forma que la costura horizontal del bolsillo interno esté al ras con la abertura del homogeneizador. Se coloca un sobre GENbox Microaer (bioMèrieux, Madrid, España) y se deja reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Posteriormente se

abre la bolsa y se extraen 5 ml de la muestra a un tubo de polipropileno estéril. Una vez realizado este procedimiento se cambia el sobre GENbox Microaer e incuba la muestra original durante 44-52 horas a $41.5\pm 1^{\circ}\text{C}$ si no se destruye la muestra.

De la muestra extraída al tubo de polipropileno, se hacen diluciones 1:100 y 1:1000. Para diluciones 1:100 y superiores, se transfiere 1 ml de muestra al frasco de 9ml de agua de peptona tamponada inoculado. De este modo realizamos una dilución decimal de la muestra. Consecutivamente se siembran las muestras en las placas CampyFood Agar (bioMérieux, Madrid, España), añadiendo 100 μL de la muestra a sembrar y con la ayuda de un asa Drigalsky se reparte homogéneamente la muestra hasta su completa absorción en la placa. Una vez sembradas las muestras, se colocan en una jarra con cierre hermético, ocupando al máximo su volumen con placas de Petri vacías y se colocan varios sobres de Generador de atmósfera GENbox Microaer (bioMérieux Ref: 96125) en función del tamaño de la jarra. Una vez realizado este procedimiento se incuba el box durante 44-52 horas a $41.5\pm 1^{\circ}\text{C}$. Tras la incubación se cuentan las colonias presentes en las CampyFood Agar. Las colonias presentan un aspecto rojo burdeos a rojo anaranjado.

6.8. Determinación de bacterias aerobias mesófilas (BAM) y *Escherichia coli*

Para determinar la presencia y el recuento de BAM y *E. coli*, se utilizaron las pruebas TEMPO EC y TEMPO AC (BioMérieux, Madrid,

España), según Crowley y col. (2009) y Crowley y col. (2010), respectivamente.

Las muestras se inoculan en el vial de medio de cultivo, y una vez transcurrido el tiempo de incubación se transfieren con un tubo específico a una tarjeta que contiene 48 pocillos de tres volúmenes diferentes: 2,25, 22,5 y 225 ml. La tarjeta se cierra herméticamente y se incuba durante 40-48h para MAM y 22-27 h para *E. coli*. Los microorganismos presentes en la tarjeta hidrolizan el sustrato en el medio de cultivo, lo que provoca la aparición de una señal fluorescente. En el caso de *E. coli*, la reacción se basa en la actividad de la enzima β -glucuronidasa (GUD). La señal, en ambos casos, es detectada por el lector TEMPO. Dependiendo del número y tipo de pozos positivos, el sistema TEMPO calcula el número de microorganismos según el método del Número Más Probable (NMP), y se expresa como ufc/ml.

6.9. Análisis estadístico de resultados

Los cálculos estadísticos se realizaron con el Software SPSS 15.0 (IBM Company, Armonk, NY, EEUU), y Excel (Microsoft 365, Redmond, Washington, EEUU).

La eficacia de las medidas ensayadas se determinó comparando los resultados según los diferentes parámetros estudiados. Para ello, se realizó una prueba no paramétrica de chi-cuadrado (χ^2) con un nivel de significación del 95% ($p < 0.05$). En el caso de los parámetros dicotómicos (presencia o ausencia de *Salmonella*), se realizó la prueba Q Cochran.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Mejora de parámetros en el lavado de jaulas

Los resultados obtenidos en los distintos estudios de lavado de jaulas de transporte de aves, usando distintas temperaturas y conductividad de detergente se muestran en las Tablas 2 a 19.

Tabla 2. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	-	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	-	-	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	3'6·10 ⁸	1'2·10 ⁶	7'6·10 ⁷	5'5·10 ⁵	4'1·10 ⁶	5'6·10 ⁵
Enterobacterias	5·10 ⁴	3.100	6'5·10 ⁵	5.300	7'7·10 ⁶	5'3·10 ⁴

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 3. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Listeria</i>	+	-	+	+	-	-
Aerobios Mesófilos	6'3·10 ⁹	4·10 ⁷	5·10 ⁹	2'3·10 ⁶	3'1·10 ⁸	2'3·10 ⁵
Enterobacterias	5'6·10 ⁵	2'3·10 ⁴	3'6·10 ⁵	1'2·10 ⁴	7'5·10 ⁶	1'2·10 ⁴

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 4. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 40°C sin detergente. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	+	+	+	+
Aerobios Mesófilos	2'9·10 ⁶	3'6·10 ⁸	3'8·10 ⁹	4'3·10 ⁷	5'8·10 ⁶	7'1·10 ⁶
Enterobacterias	8·10 ⁵	6'9·10 ⁵	8'3·10 ⁶	7'3·10 ⁴	5'3·10 ⁵	2'8·10 ⁴

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 5. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	-	+	-	-	+	-
<i>Listeria</i>	-	-	+	-	-	+
Aerobios Mesófilos	7'5·10 ⁹	8'7·10 ⁶	8'4·10 ⁵	7'6·10 ⁶	2'4·10 ⁹	3'6·10 ⁷
Enterobacterias	3'5·10 ⁵	6.100	1'5·10 ⁶	5'6·10 ⁴	8·10 ⁵	6.300

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 6. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	+
<i>Listeria</i>	-	+	-	+	-	+
Aerobios Mesófilos	4'9·10 ⁶	3'1·10 ⁴	5'3·10 ⁷	2·10 ⁵	1'8·10 ⁶	3'9·10 ⁴
Enterobacterias	7'9·10 ⁶	7.200	8'9·10 ⁶	5'6·10 ⁴	6'3·10 ⁸	9.500

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 7. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C sin detergente. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	+
<i>Listeria</i>	+	-	+	+	+	+
Aerobios Mesófilos	8'7·10 ⁹	2'8·10 ⁵	1'9·10 ⁹	2'4·10 ⁷	1'6·10 ⁶	3'7·10 ⁴
Enterobacterias	8'3·10 ⁶	7'2·10 ⁶	5'7·10 ⁷	6'5·10 ⁴	6'8·10 ⁶	8.300

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 8. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1 mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	+	+	+	+
Aerobios Mesófilos	1'7·10 ⁶	8'1·10 ⁶	7'7·10 ⁹	9·10 ⁷	1'7·10 ⁹	6'5·10 ⁸
Enterobacterias	1'9·10 ⁶	8'9·10 ⁵	8'7·10 ⁴	2'7·10 ⁵	1'7·10 ⁶	2'8·10 ⁵

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 9. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	-	-	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	+	+	+	+
Aerobios Mesófilos	4·10 ⁷	1'9·10 ⁷	2'6·10 ⁸	8'9·10 ⁸	3'1·10 ⁵	7'7·10 ⁸
Enterobacterias	1'9·10 ⁶	7'5·10 ⁵	1'5·10 ⁵	8'1·10 ⁵	8'9·10 ⁶	1'6·10 ⁵

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 10. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 1 mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	+	+	+	+
Aerobios Mesófilos	1'7·10 ⁸	4'7·10 ⁶	1'7·10 ⁶	8·10 ⁶	6'3·10 ⁷	8'7·10 ⁶
Enterobacterias	1'9·10 ⁶	6'3·10 ⁵	2'9·10 ⁶	1'8·10 ⁷	1'9·10 ⁶	8'2·10 ⁵

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 11. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	-	+	+	+
Aerobios Mesófilos	8'7·10 ⁶	1'7·10 ⁴	8'7·10 ⁶	1'7·10 ⁴	8'7·10 ⁶	1'5·10 ⁴
Enterobacterias	3'6·10 ⁵	3'5·10 ⁴	1'5·10 ⁵	1'6·10 ⁴	8·10 ⁵	1'5·10 ⁴

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 12. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	+	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	+	+	+	-	+	+
Aerobios Mesófilos	7·10 ⁶	8·10 ⁴	2'5·10 ⁷	1'7·10 ⁵	3'6·10 ⁷	2'1·10 ⁴
Enterobacterias	1'5·10 ⁵	3'9·10 ⁵	3'5·10 ⁴	1'5·10 ⁵	3.700	4.100

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 13. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 45°C con detergente hasta conductividad 4mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	<i>t</i> ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	+
<i>Listeria</i>	+	+	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	1'8·10 ⁵	1'8·10 ⁴	1'7·10 ⁹	5'6·10 ⁵	6'3·10 ⁶	1'8·10 ⁴
Enterobacterias	1'6·10 ⁸	3'5·10 ⁴	1'5·10 ⁵	6'5·10 ⁴	3'9·10 ⁵	5.500

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 14. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	<i>t</i> ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	+	+	+	-	+	+
Aerobios Mesófilos	3'3·10 ⁹	6'3·10 ⁵	8'3·10 ⁸	6'5·10 ⁵	7'3·10 ⁸	7'3·10 ⁶
Enterobacterias	1'9·10 ⁶	4.100	7'8·10 ⁶	2.300	6'3·10 ⁷	1.300

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 15. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	-	-	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	1'3·10 ⁸	8'6·10 ⁴	6·10 ⁸	1'3·10 ⁵	2'2·10 ⁸	1'8·10 ⁵
Enterobacterias	5'9·10 ⁶	8'9·10 ⁵	1'5·10 ⁶	3.500	2'9·10 ⁶	600

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 16. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 4mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	+	-	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	1'8·10 ⁹	2'3·10 ⁶	8'8·10 ⁸	1'3·10 ⁵	2'4·10 ⁸	4'7·10 ⁵
Enterobacterias	1'9·10 ⁶	750	5·10 ⁶	1.500	7'9·10 ⁶	1.300

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 17. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₀					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Listeria</i>	-	-	+	-	-	-
Aerobios Mesófilos	1'9·10 ⁶	6'3·10 ⁵	1'5·10 ⁶	7'8·10 ⁴	18·10 ⁶	6'9·10 ⁴
Enterobacterias	1'7·10 ⁵	1.600	1'7·10 ⁶	660	1'5·10 ⁵	2.600

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 18. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₈					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	+	-	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	8·10 ⁷	8'5·10 ⁵	1'8·10 ⁹	7'3·10 ⁵	7·10 ⁸	1·10 ⁶
Enterobacterias	1'7·10 ⁵	1'2·10 ⁴	8'9·10 ⁴	4.600	1'7·10 ⁵	4.800

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

Tabla 19. Resultados obtenidos antes y tras lavado de jaulas (J1, J2 y J3) con agua a 60°C con detergente hasta conductividad 2mS. Final de la jornada (recuentos expresados en ufc/cm²)

	t ₁₆					
	J1A	J1D	J2A	J2D	J3A	J3D
<i>Salmonella</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Listeria</i>	+	-	+	-	+	-
Aerobios Mesófilos	9·10 ⁹	5'5·10 ⁵	1'9·10 ⁶	2'9·10 ⁴	8·10 ⁸	1'8·10 ⁴
Enterobacterias	2'5·10 ⁸	1.700	8·10 ⁶	8'5·10 ⁴	9'1·10 ⁶	1.800

- ausencia + presencia A antes del lavado D después del lavado

A la vista de las tablas se puede apreciar que la carga inicial de contaminación es muy elevada debido a la gran cantidad de materia orgánica procedente de las defecaciones del animal, suciedad de plumas y restos de las mismas, lo cual se ve reflejado tanto en la concentración de patógenos como en los propios indicadores de calidad. Por otro lado, el estudio nos permitió relacionar las concentraciones del detergente alcalino en función de la conductividad (Tabla 20).

Tabla 20. Relación entre concentraciones de detergente y conductividad

Concentración ppm	Conductividad
0,5	8,9
1	17,6
2	33,7
3	49,4
4	64,2
5	78,4

Derivado de esta tabla, apreciamos claramente que trabajamos siempre por debajo de 0'5 ppm, lo cual hace que sea una medida efectiva y económica.

En función de estos resultados, podemos apreciar que el efecto sinérgico del aumento de concentración con la temperatura se muestra más eficaz que el de subir cada parámetro por separado, pero siempre respetando los límites establecidos tanto por las indicaciones del fabricante (en el caso de la conductividad del fabricante) como por la temperatura marcada por el mismo material del que están fabricados los carros, los cuales, al ser de hierro galvanizado, pueden verse deteriorados por una excesiva temperatura que pueda favorecer su oxidación. De los resultados mostrados en esta parte del estudio podemos concluir que no se estima necesario usar la máxima concentración de detergente alcalino. La acción combinada de 2mS y de 60°C es suficiente para conseguir los resultados marcados y movernos por debajo de los límites para los indicadores microbiológicos establecidos. Además, se protegen los carros y se ahorra en costes en relación con un tratamiento más severo.

Adicionalmente, hay que señalar que siempre la acción de un desinfectante al final del proceso resultaría muy beneficiosa; fundamentalmente, a base de ácido peracético, que debería ser añadido en la etapa final, tras las condiciones óptimas ensayadas. Como ya hemos señalado, no se ha considerado hacer en este trabajo dado que en la mayoría de los casos este desinfectante se añade en los lavaderos de camiones autorizados (Anónimo, 2019b).

Por último, es interesante reseñar que el lavado de estas jaulas no sería posible si antes no se hubiese barrido, lavado y desinfectado el suelo del camión, el cual se hace también, como en el caso del último estudio, con agua a 60°C y con el mismo detergente a 2 mS. En este caso sí se usa ácido peracético para su desinfección.

Gomolka-Pawlicka (2014) ya señalan, en función de una experiencia a lo largo de 9 estaciones (resultados agrupados según época del año), la necesidad de aplicar estrictas medidas de higiene en granjas con el fin de mejorar la efectividad de la limpieza y desinfección de las jaulas sea cual sea el momento del año. Estos autores consideran que actuaciones negligentes en este área favorecen la difusión de microorganismos (en el caso de su estudio *Campylobacter*) entre las aves justo antes de su entrada al matadero, lo que aumenta el riesgo de contaminación de la carne.

Nuestros resultados son más valorables si consideramos que, en artículos recientes, Borges y col. (2019; 2020), muestran experiencias en las que la contaminación en las jaulas incrementaba tras el proceso de limpieza, lo que indicaba su ineficiencia. Más aún, sostienen que las aves llegaban contaminadas al matadero, más allá de que durante la fase de matadero dicha contaminación se incrementa debido a la contaminación cruzada (Borges y col., 2020).

Entre los escasos estudios de los que tenemos conocimiento sobre jaulas de transporte, Zang y col. (2015) realizaron una experiencia sobre jaulas de plástico, obteniendo las máximas reducciones de *Salmonella*

Enteritidis previamente inoculada a las mismas, con agua de grifo (15 segundos de exposición, reducción de 3'12 log ufc /cm²). También mostró efectividad el agua electrolizada suavemente acidificada, aplicada 40 s con una concentración disponible de cloro de 50 mg/l.

No podemos valorar nuestros resultados frente a los obtenidos por White y col. (2018a), al ser sobre jaulas de ponedoras, y no evaluar el principio activo que hemos usado. No obstante, estos autores sostienen que las características de los regímenes de limpieza y desinfección pueden variar significativamente y deben tenerse en cuenta a la hora de elegir un producto químico para la desinfección de superficies de este tipo (White y col., 2018a).

7.2 Tratamiento del agua de escaldado

Los resultados de los indicadores microbianos (*E. coli* y MAB) a lo largo del proceso de escaldado (una semana de experiencia) en condiciones habituales, así como aplicando un aumento de la temperatura a la mitad del día de sacrificio, se muestran en las Figuras 18 a 53.

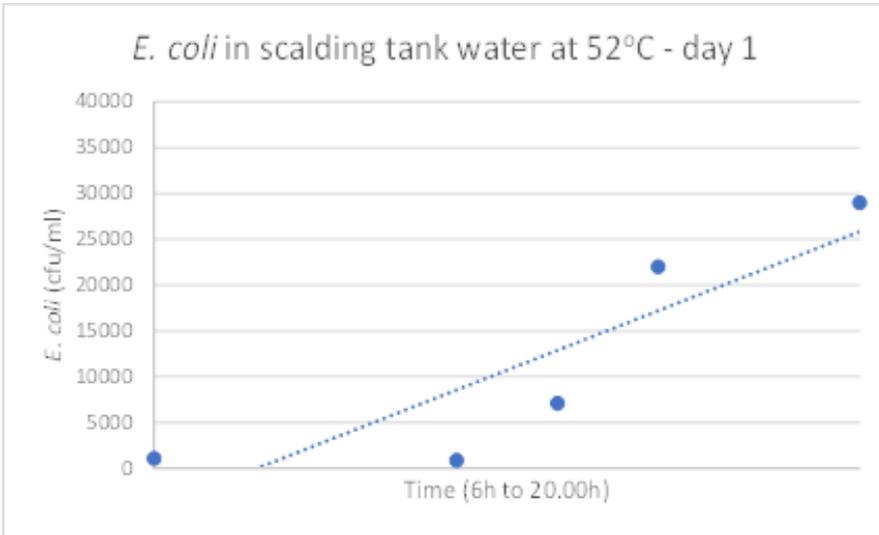


Figura 18. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 1 de sacrificio

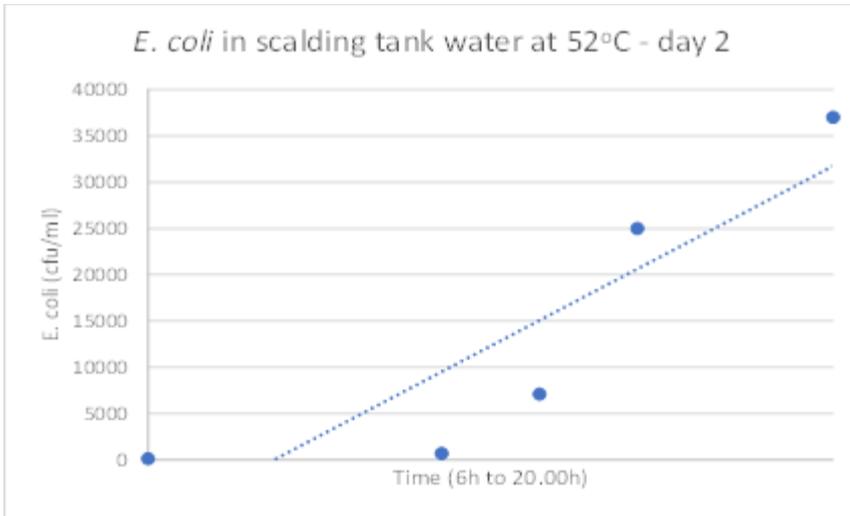


Figura 19. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 2 de sacrificio

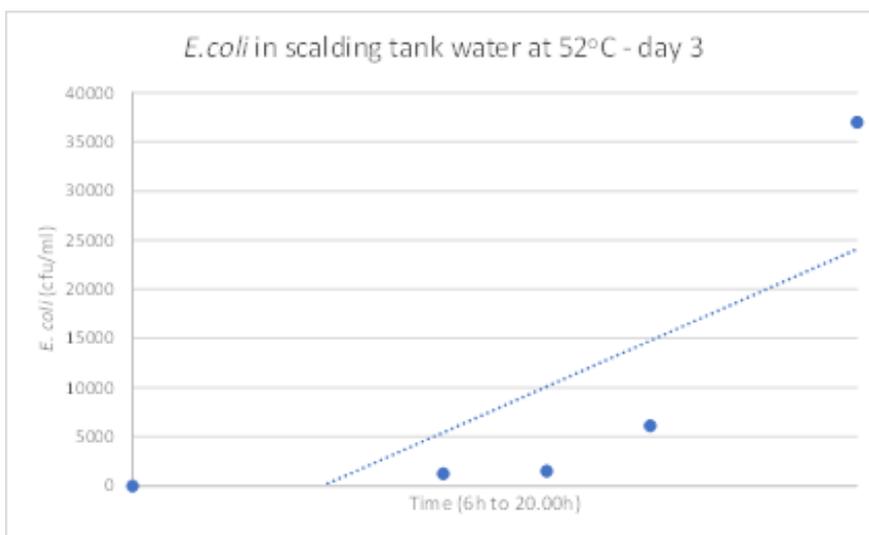


Figura 20. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 3 de sacrificio

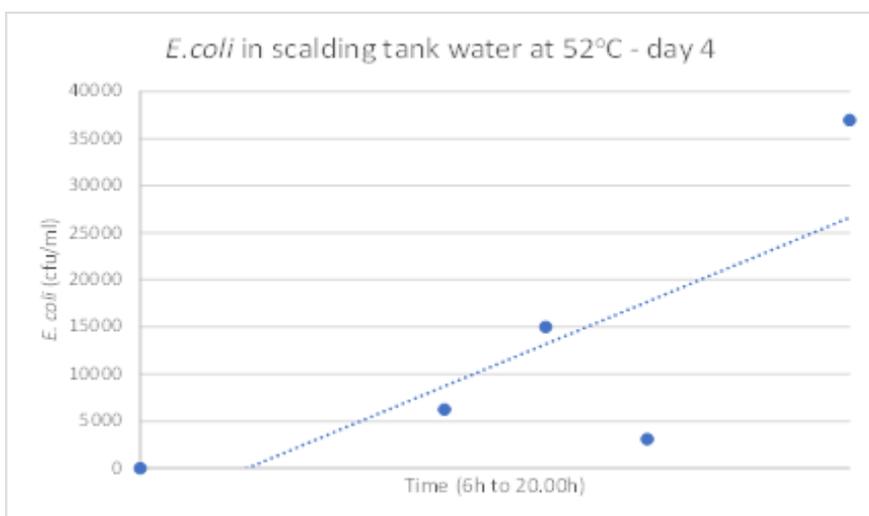


Figura 21. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 4 de sacrificio

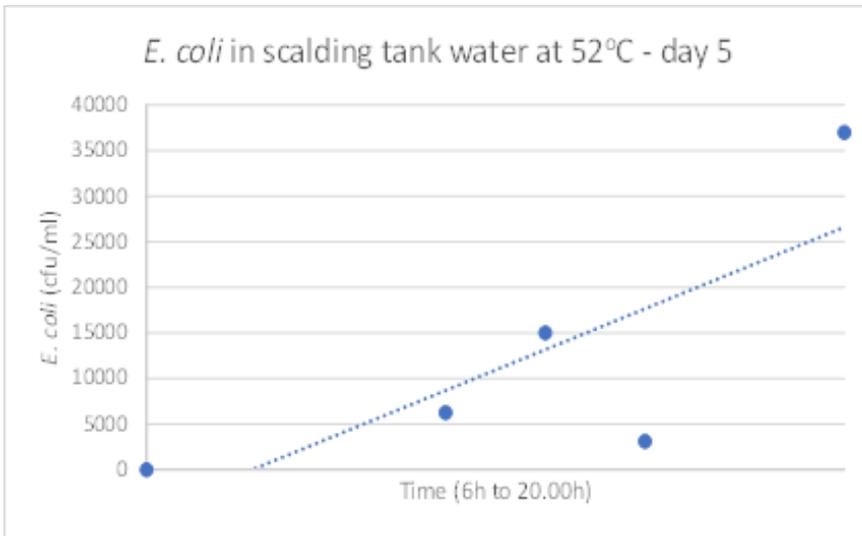


Figura 22. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 5 de sacrificio

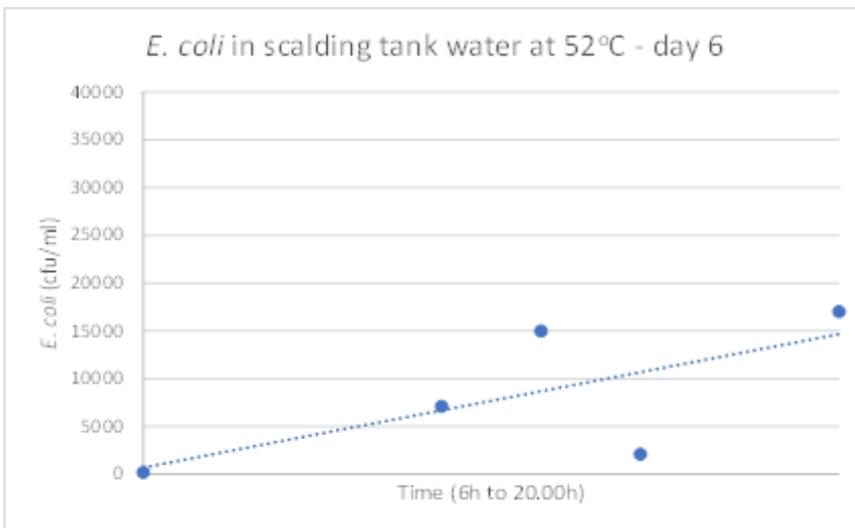


Figura 23. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 6 de sacrificio

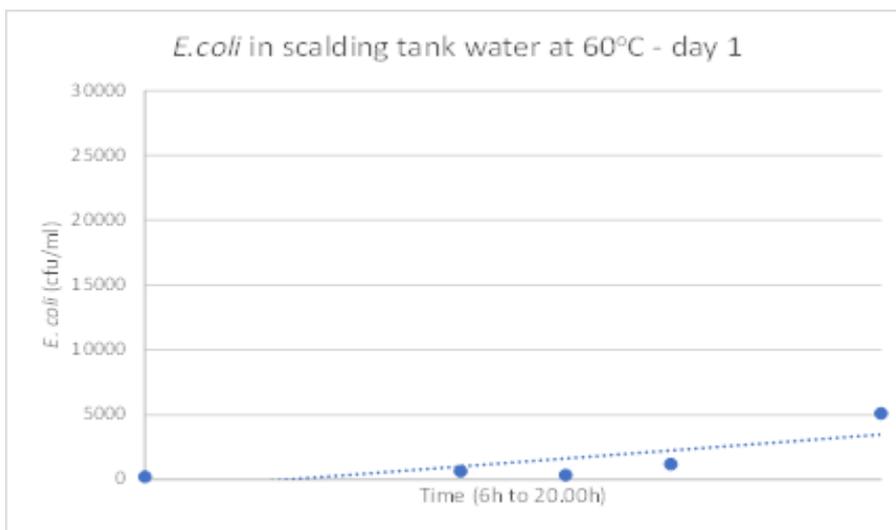


Figura 24. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 1 de sacrificio

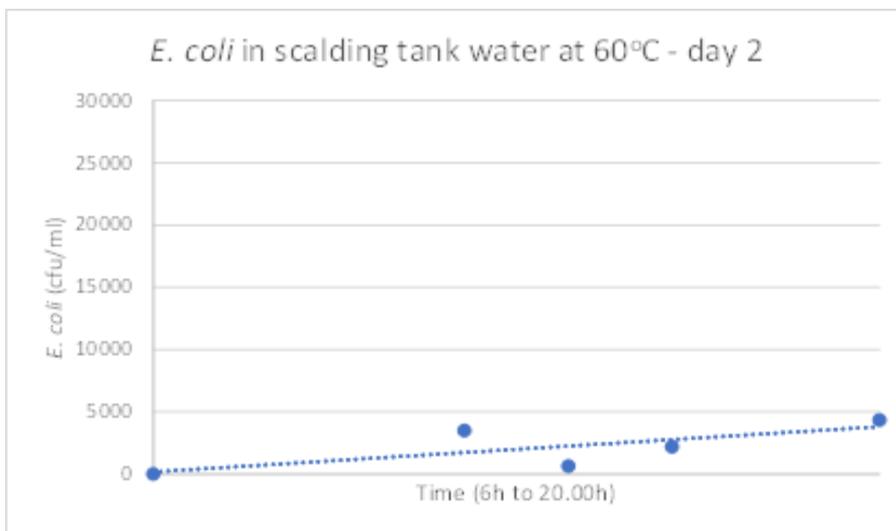


Figura 25. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 2 de sacrificio

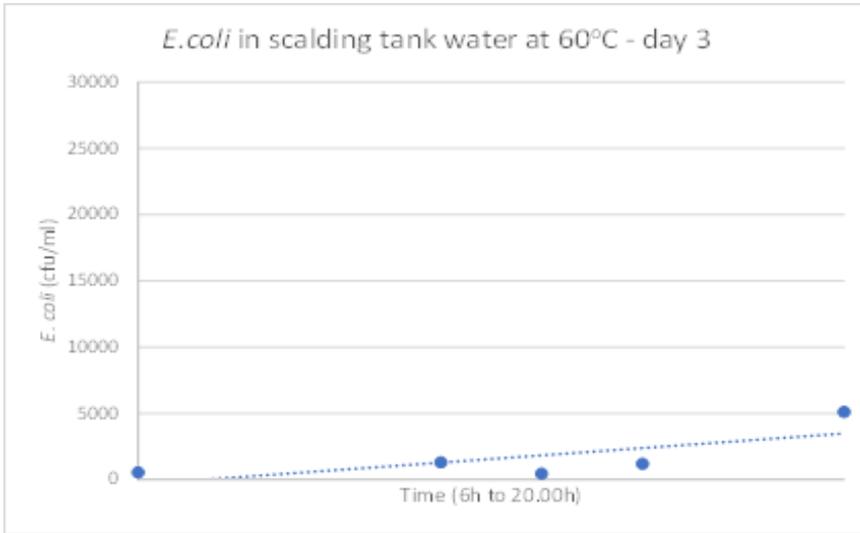


Figura 26. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 3 de sacrificio

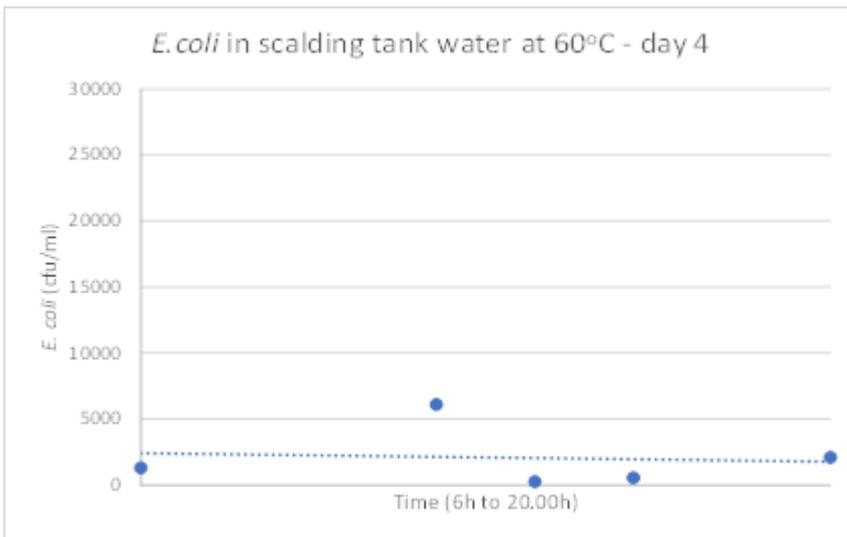


Figura 27. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 4 de sacrificio

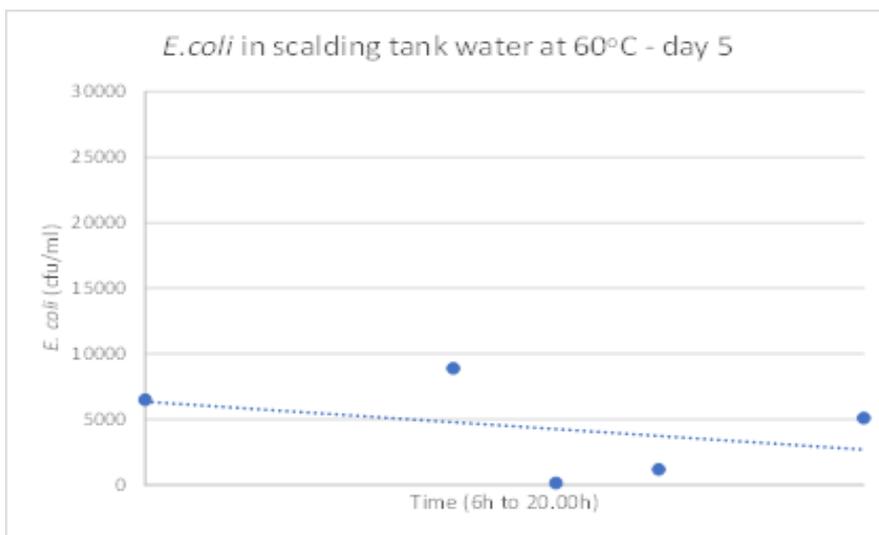


Figura 28. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 5 de sacrificio

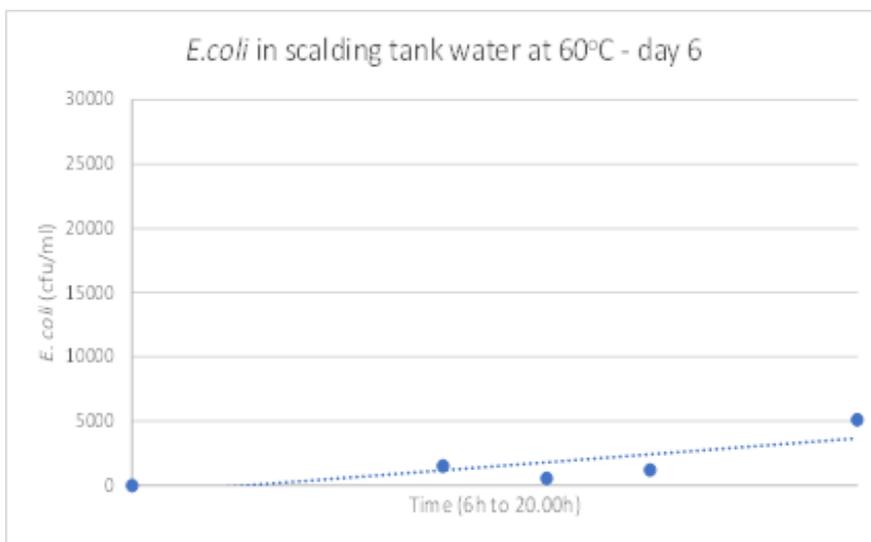


Figura 29. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 6 de sacrificio

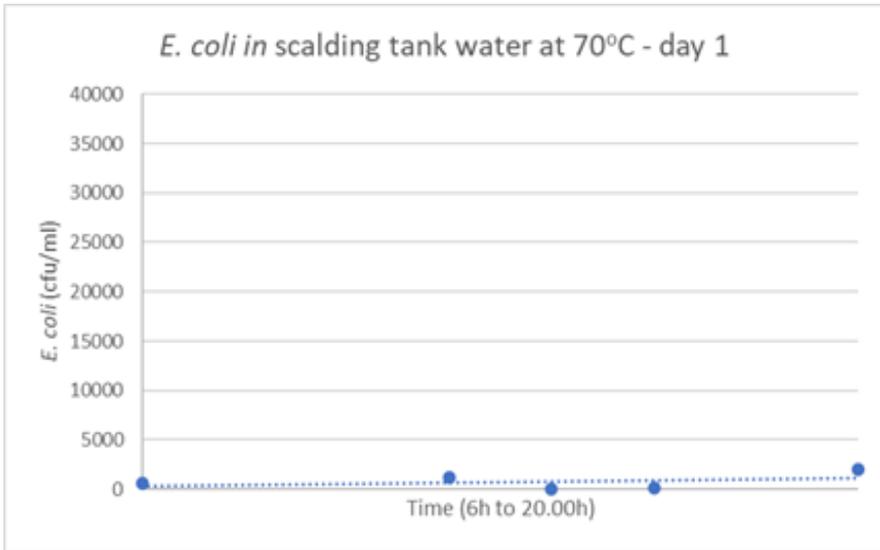


Figura 30. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 1 de sacrificio

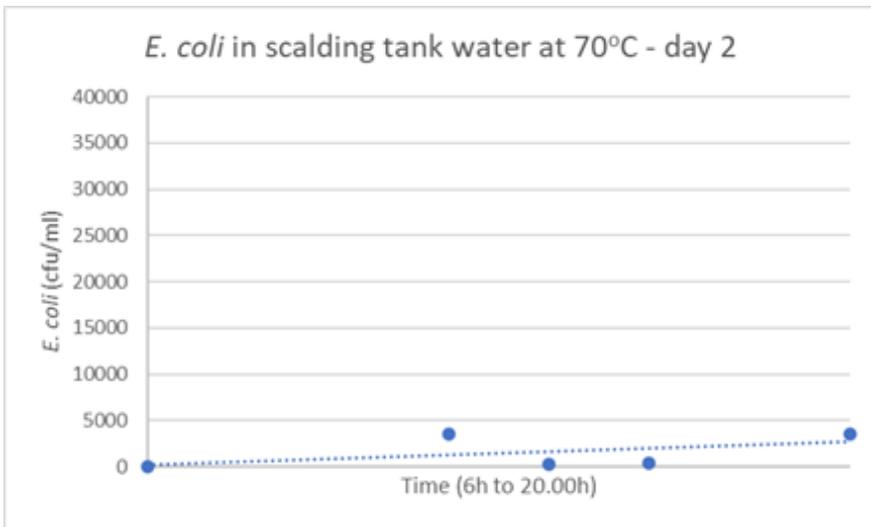


Figura 31. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 2 de sacrificio

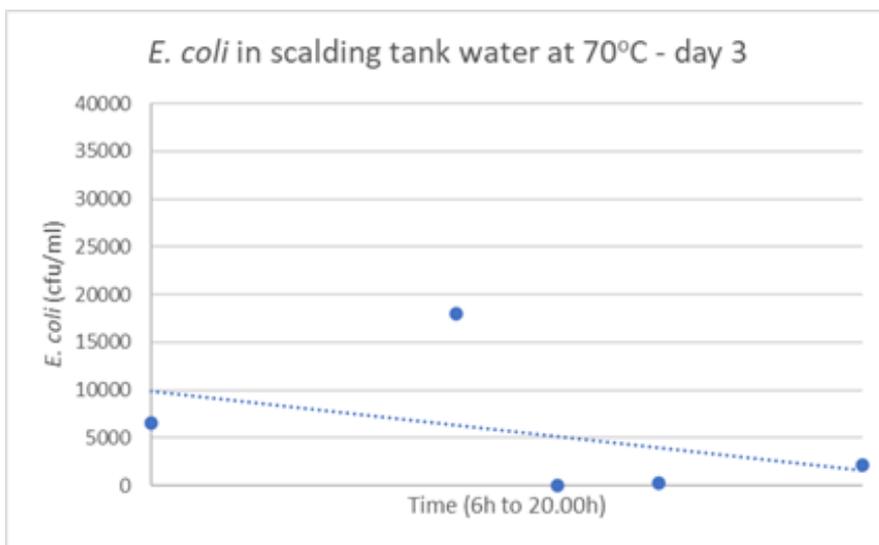


Figura 32. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 3 de sacrificio

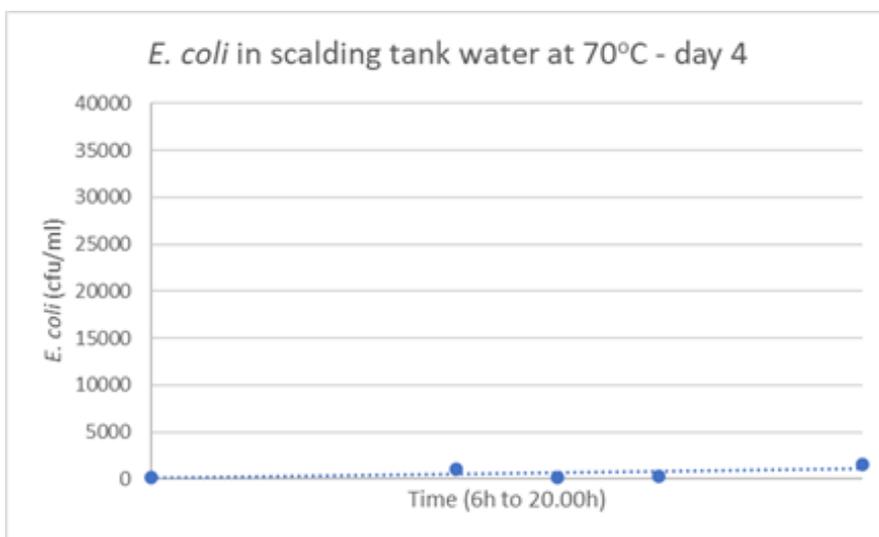


Figura 33. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 4 de sacrificio

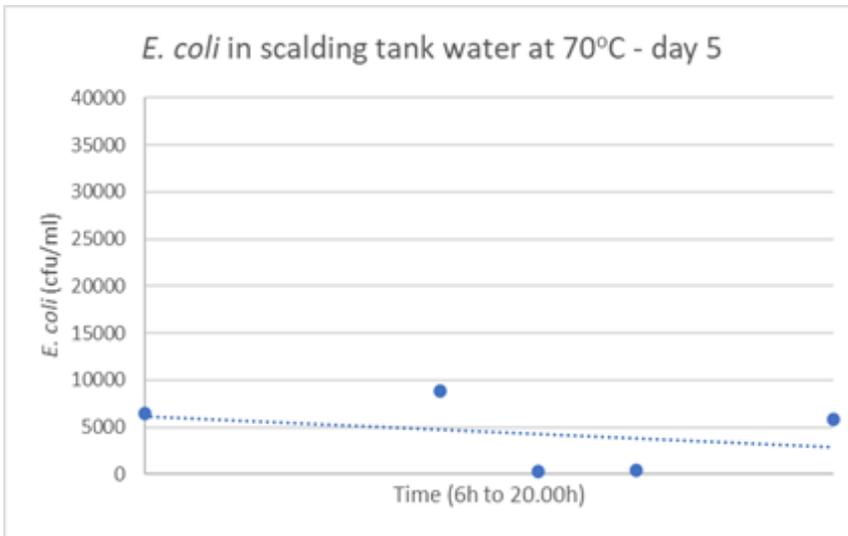


Figura 34. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 5 de sacrificio

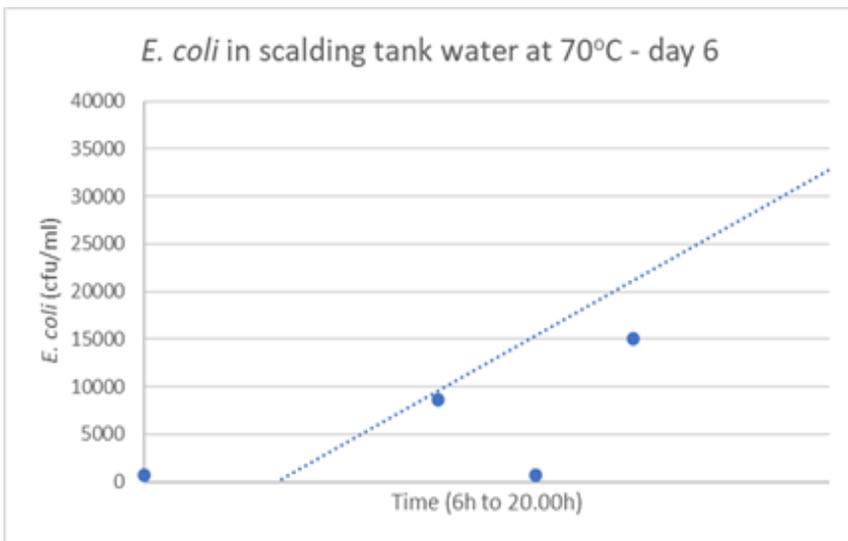


Figura 35. Evolución de los recuentos de *E. coli* en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 6 de sacrificio

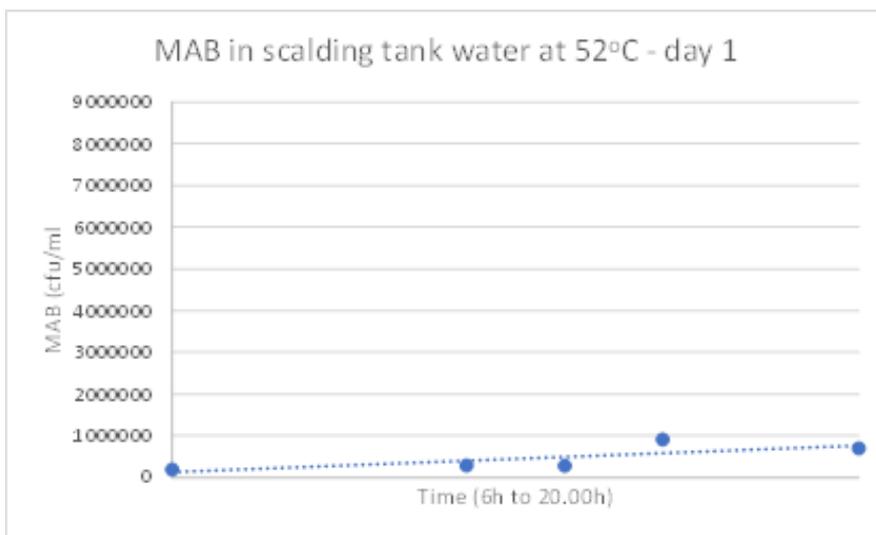


Figura 36. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 1 de sacrificio

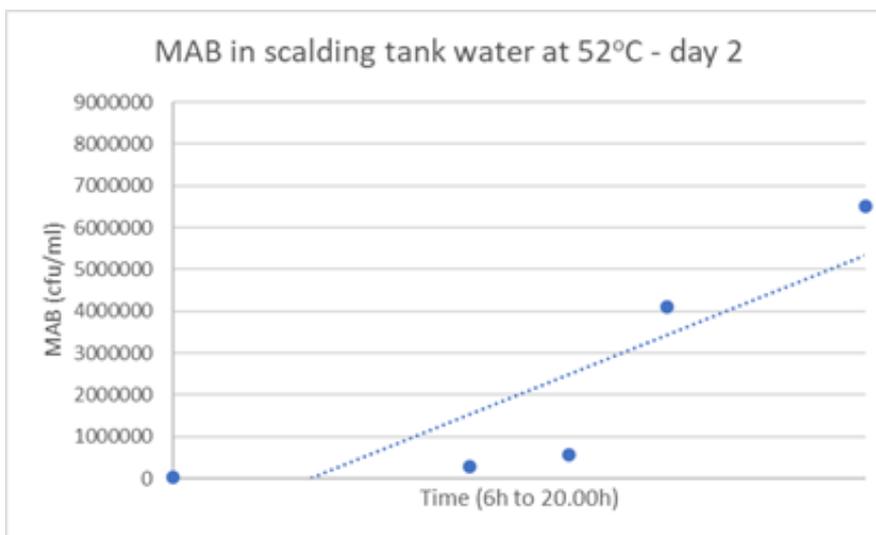


Figura 37. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 2 de sacrificio

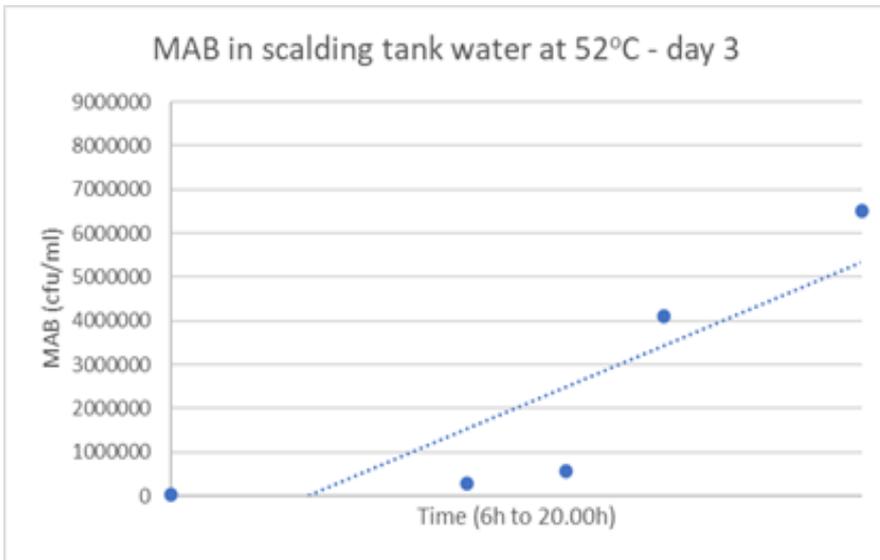


Figura 38. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 3 de sacrificio

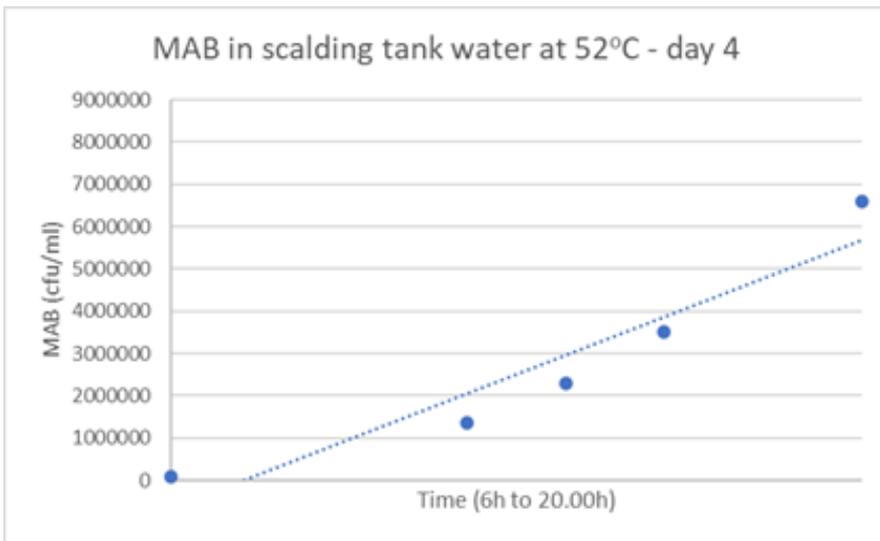


Figura 39. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 4 de sacrificio

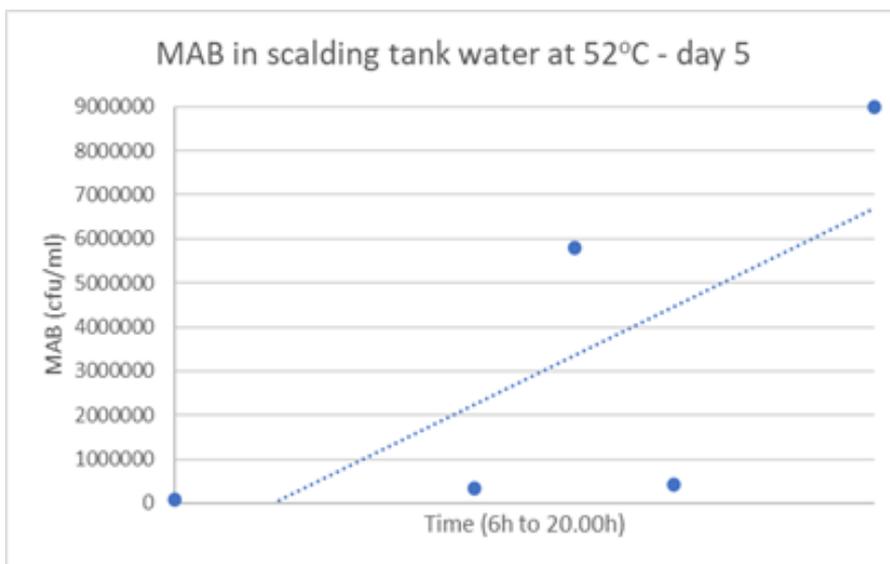


Figura 40. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 5 de sacrificio

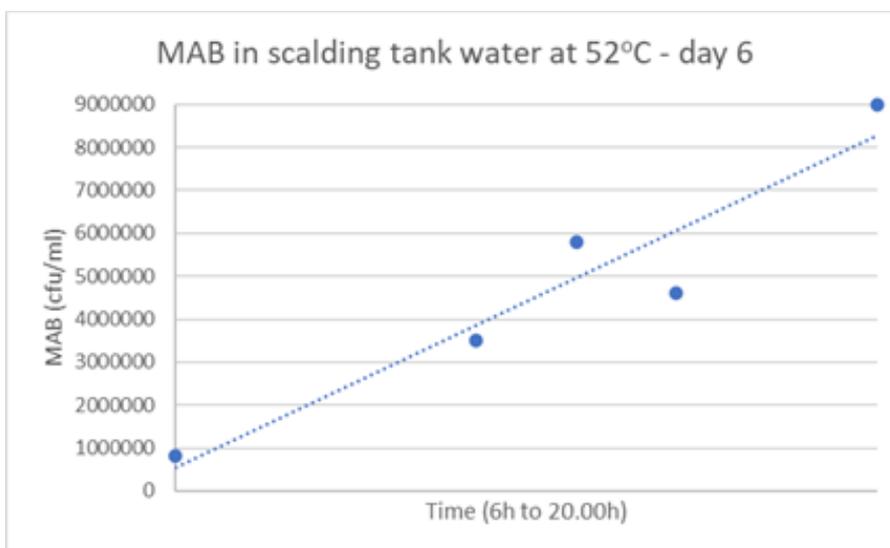


Figura 41. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 52°C a lo largo del día 6 de sacrificio

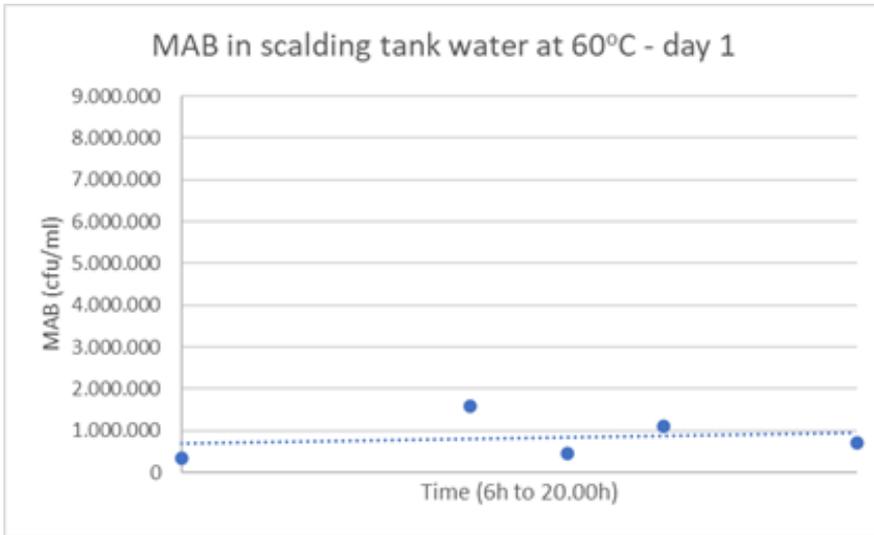


Figura 42. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 1 de sacrificio

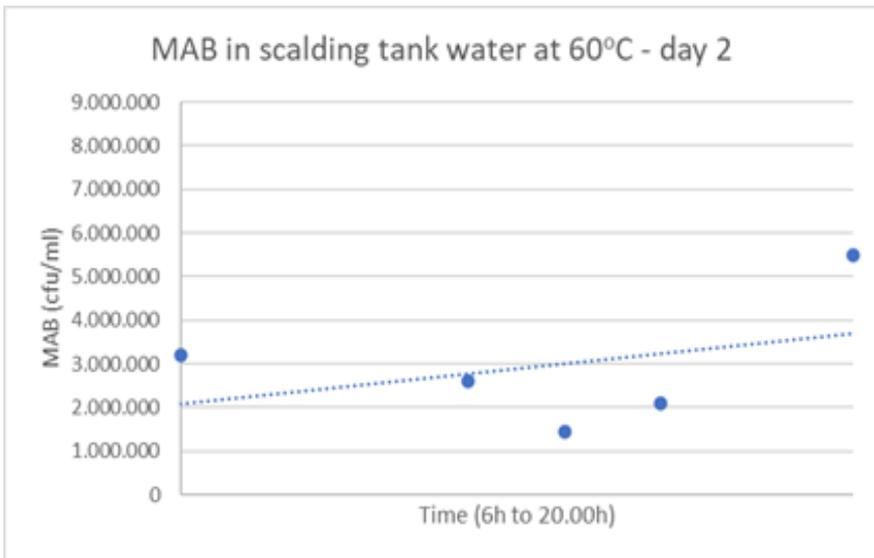


Figura 43. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 2 de sacrificio

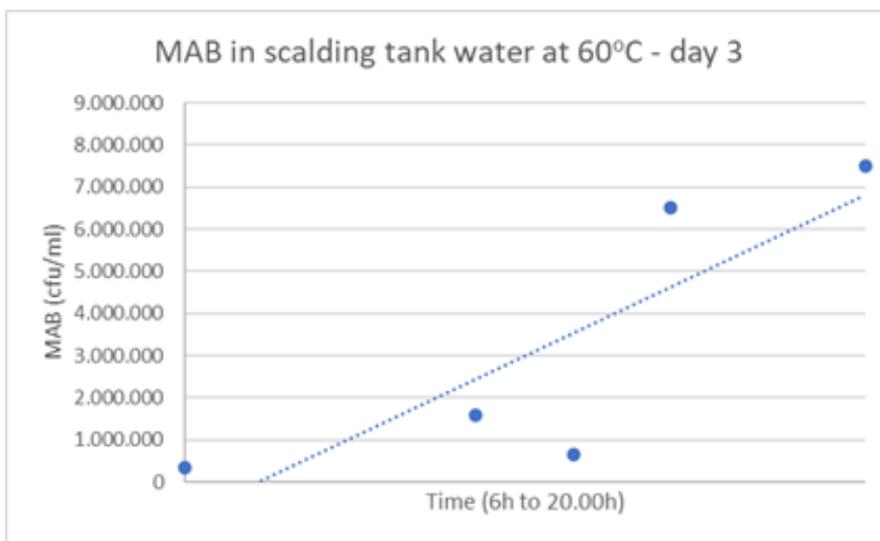


Figura 44. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 3 de sacrificio

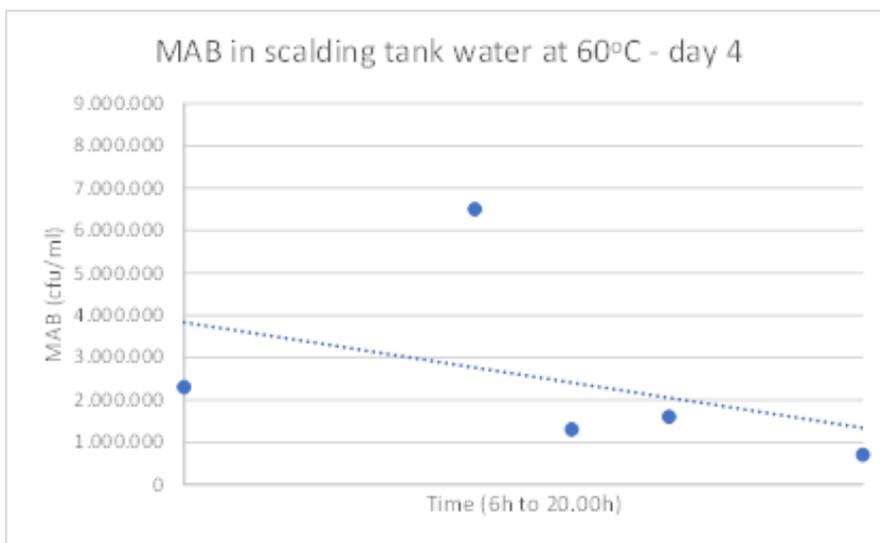


Figura 45. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 4 de sacrificio

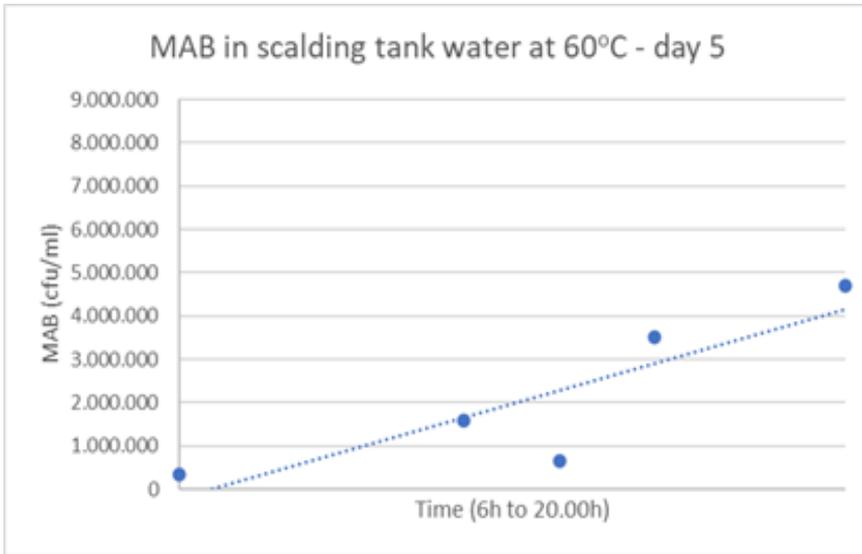


Figura 46. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 5 de sacrificio

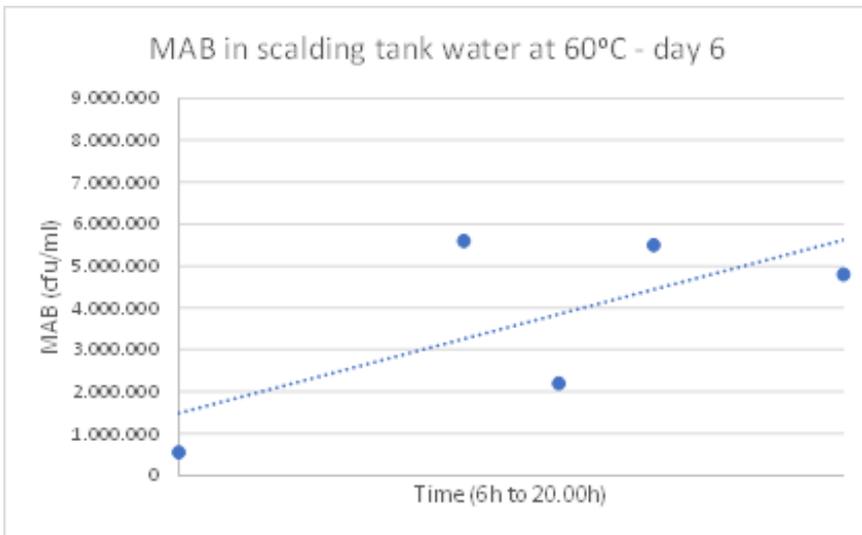


Figura 47. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 60°C a lo largo del día 6 de sacrificio

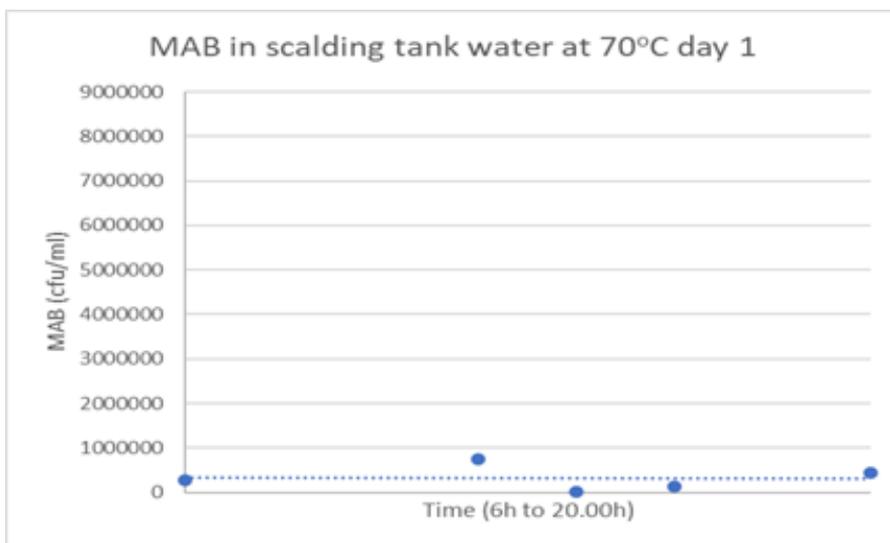


Figura 48. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 1 de sacrificio

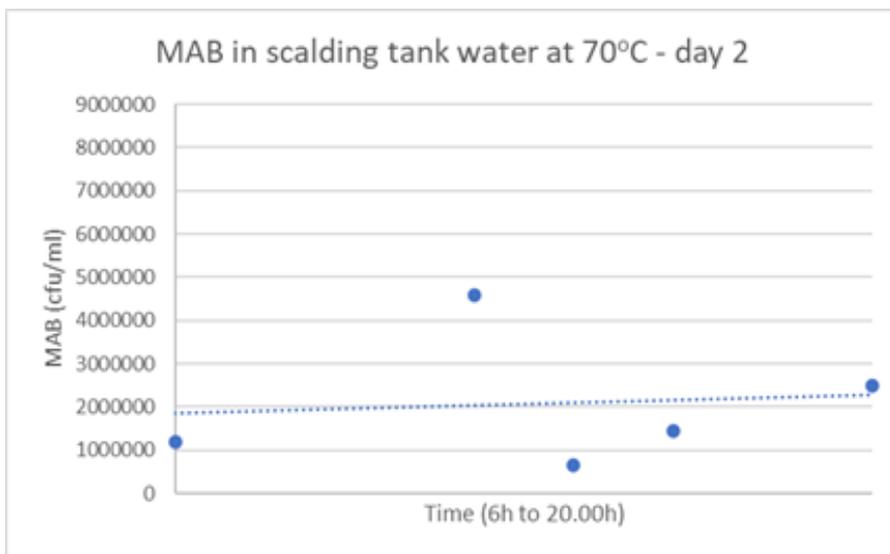


Figura 49. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 2 de sacrificio

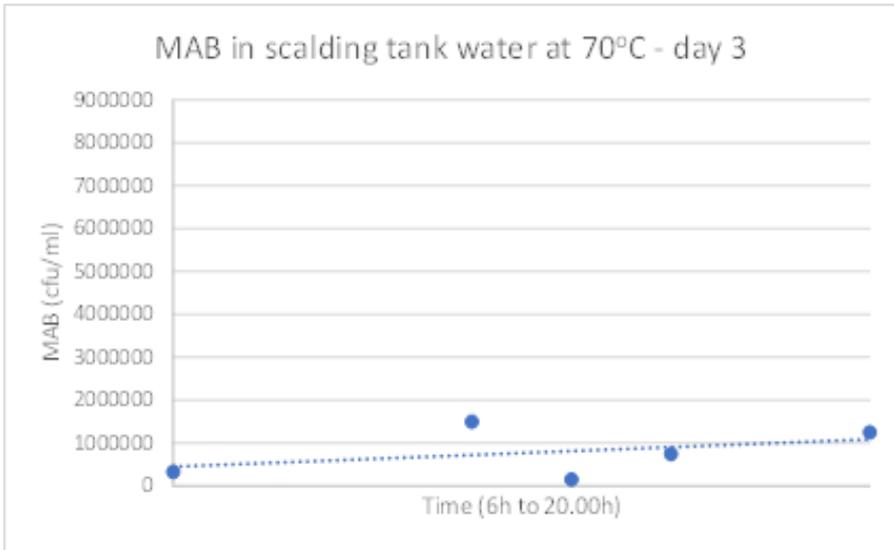


Figura 50. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 3 de sacrificio

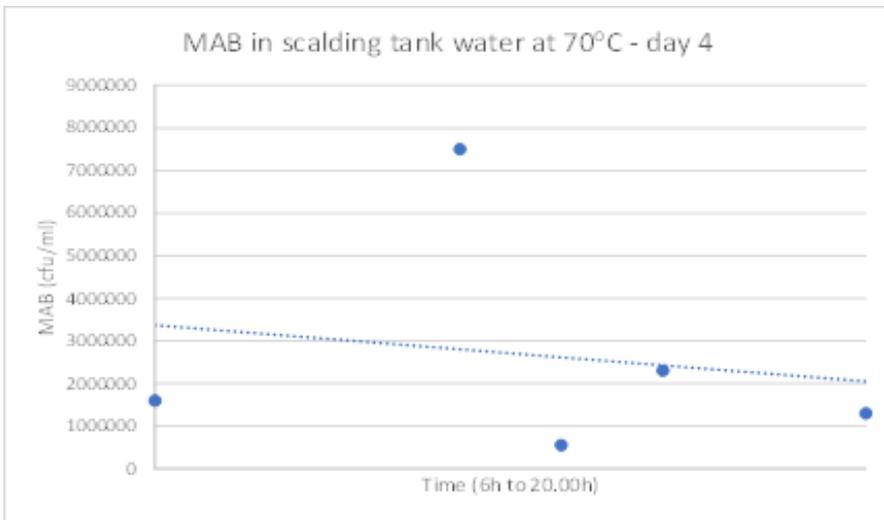


Figura 51. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 4 de sacrificio

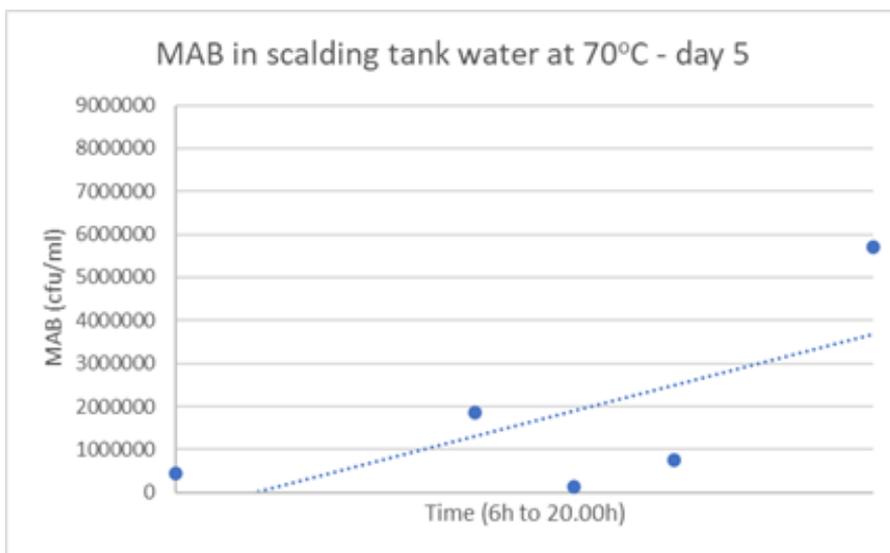


Figura 52. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 5 de sacrificio

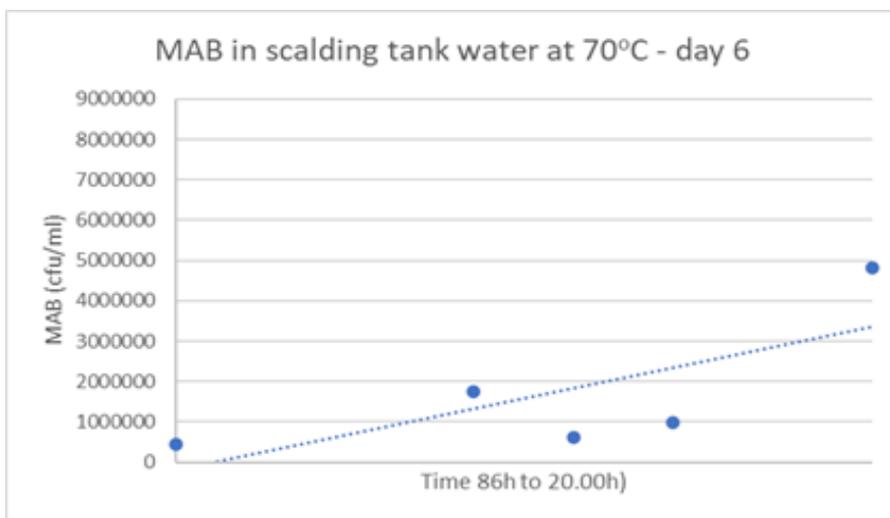


Figura 53. Evolución de los recuentos de BAM en el agua de escaldado a 70°C a lo largo del día 6 de sacrificio

El contenido microbiano de los lotes sacrificados es diferente, debido a la distinta procedencia, granjas y circunstancias. Además, hay que tener en cuenta que, según la normativa vigente (Anónimo, 2004b), los pavos procedentes de granjas positivas son los últimos en ser sacrificados. La evolución de los recuentos a lo largo del día de sacrificio, en condiciones habituales, muestra una tendencia lineal. Esto se explica porque no expresa una línea de crecimiento microbiano, sino la acumulación de materia orgánica en el agua procedente del polvo de las plumas, la materia fecal de los muslos o el contenido intestinal que desprenden las aves.

A pesar de estas presuntas diferencias, las pendientes de las líneas para la evolución de *E. coli* son bastante similares en las condiciones habituales de escaldado (52°C) en seis días. Y, en el 83'3% de los casos, los recuentos finales tuvieron un rango similar: $2'9\text{-}3'7\cdot 10^4$ ufc/ml. Tras aplicar el aumento de temperatura a la mitad del día de sacrificio, la disminución de los recuentos tras el calentamiento conduce a una distribución de resultados más irregular. Después de los tratamientos, el recuento siguiente es siempre el más bajo, lo que provoca pendientes de las líneas con tendencias más suaves de aumento, incluso de disminución en algunos casos (principalmente en función de los recuentos iniciales al principio del día). Los recuentos más altos fueron de $5'1\cdot 10^3$ ufc/ml o inferiores. Tras el tratamiento a 70°C, la mejora de los resultados (aumento más suave de la pendiente de las líneas, o incluso líneas decrecientes) se produce en el 83'3% de los días.

Se pueden hacer comentarios similares a los resultados de MAB. En las condiciones habituales, el 83'3% de los resultados son bastante similares en cuanto a la pendiente de las líneas, con recuentos más altos entre $7\cdot 9\cdot 10^6$ ufc/ml. Sólo el primer día aparecen resultados más bajos y diferentes (por debajo de 10^6 ufc/ml). Después de los tratamientos en que se incrementa la temperatura, los recuentos muestran una importante disminución que lleva a que las pendientes de las líneas sean más suaves o incluso decrecientes en relación con las obtenidas a 52°C.

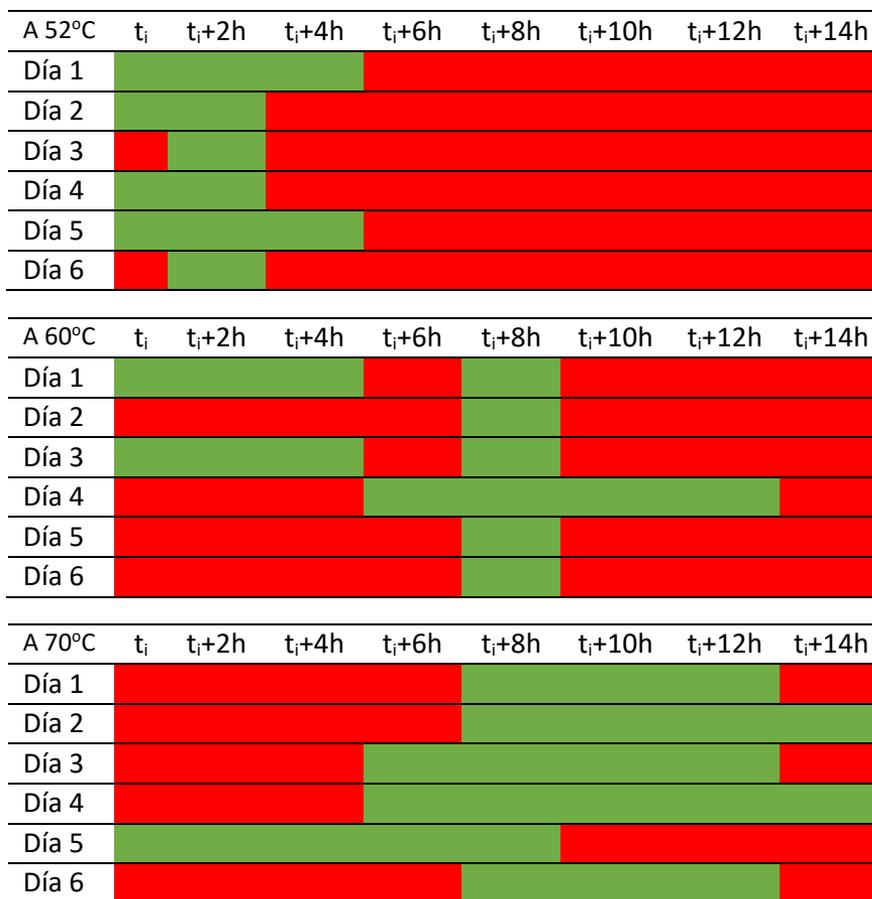
La Tabla 21 muestra la eficacia del aumento de la temperatura en cada caso, informando del porcentaje de disminución de los recuentos de los indicadores higiénicos. Los resultados muestran, como era de esperar, un mayor efecto tras el aumento de la temperatura hasta los 70°C (una media general del 90'9%; siendo una media del 94'4% para *E. coli* y del 87'5 para MAB). Las diferencias de estos resultados en relación con los obtenidos tras el aumento a 60°C (una media general del 68'; con una media del 75% para *E. coli* y del 62'6% para MAB), resultan significativas ($p < .05$).

Tabla 21. Disminución (%) de los recuentos de los microorganismos indicadores de higiene tras el incremento de temperatura del agua de escaldado (hasta 60°C y 70°C) durante 15 minutos

		60°C	70°C
<i>E. coli</i>	Día 1	46'2	100
	Día 2	81'5	91'5
	Día 3	65'4	100
	Día 4	96'0	85'0
	Día 5	98'4	97'2
	Día 6	62'7	92'5
MAB	Día 1	71'9	98'7
	Día 2	44'3	85'0
	Día 3	59'4	90'0
	Día 4	80'0	92'7
	Día 5	59'4	93'3
	Día 6	60'8	64'3

Los resultados de la presencia de *Salmonella* en el agua de escaldado a lo largo de la experiencia se expresan en la Figura 54. Encontrar *Salmonella* en las primeras horas depende de los rebaños sacrificados. Pero, una vez que *Salmonella* aparece, permanece en el agua de escaldado hasta el final de la experiencia. Eso es lo que ocurre, en general, en las condiciones habituales. Justo después de aplicar los tratamientos incrementando la temperatura, los resultados se convierten en ausencia de *Salmonella* en todos los casos (ti+8h). Pero, si el tratamiento es a 60°C, dos horas después *Salmonella* vuelve a aparecer en cinco de los seis días de la experiencia (83,3%). Tras el tratamiento a 70°C, el efecto permanece más tiempo, incluso hasta el final del día en el 33,3% de los casos. La influencia del tratamiento muestra diferencias

estadísticas ($p < 0.05$) en el impacto de la disminución de la presencia de *Salmonella*.



t_i : hora de comienzo del proceso

■ : Ausencia de *Salmonella*

■ : Presencia de *Salmonella*

Figura 54. Presencia de *Salmonella* en el agua de escaldado a lo largo del día de sacrificio

El efecto de la disminución del pH del agua de escaldado sobre los microorganismos indicadores de higiene y la presencia/ausencia de *Salmonella* se muestra en la Tabla 22 y las Figuras 55 y 56.

Tabla 22. Evolución de la determinación de *Salmonella* tras la acidificación del agua de escaldado (con diferentes pH iniciales)

	t _i	t _i +2h	t _i +4h	t _i +6h	t _i +8h	t _i +10h	t _i +12h	t _i +14h	t _i +16h
pH	5.5	5.65	5.75	5.86	6.05	6.15	6.35	6.38	6.45
<i>Salmonella</i>	-	-	-	+	+	+	+	+	+
pH	5.0	5.06	5.23	5.42	5.55	5.61	5.87	5.96	6.16
<i>Salmonella</i>	-	+	-	+	+	+	+	+	+
pH	4.5	4.65	4.78	4.96	5.02	5.25	5.39	5.56	5.75
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	+	+	+	-	+
pH	4.0	4.12	4.37	4.51	4.75	4.86	4.91	5.05	5.26
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	+
pH	3.5	3.58	3.76	3.89	4.15	4.27	4.36	4.46	4.65
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+
pH	3.0	3.19	3.25	3.43	3.66	3.89	3.96	4.15	4.42
<i>Salmonella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-: Ausencia de *Salmonella* +: Presencia de *Salmonella*

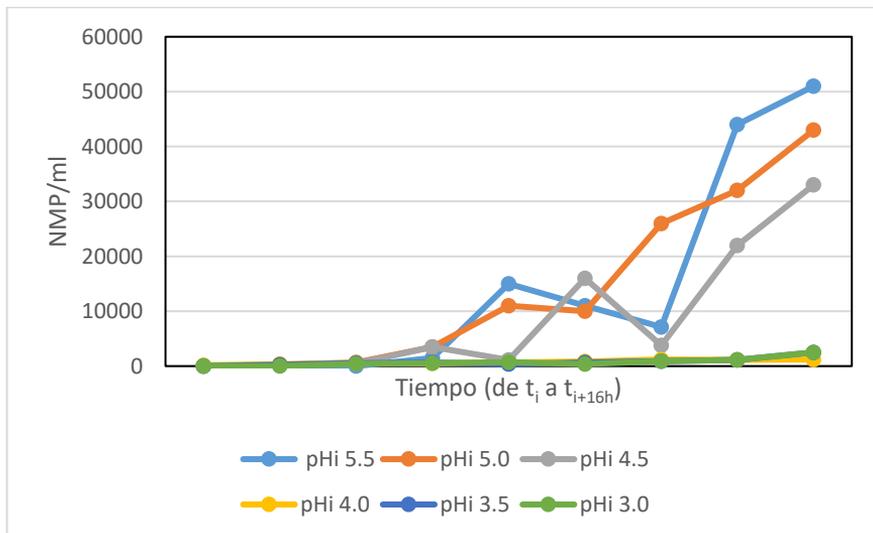


Figura 55. Evolución de la presencia de *E. coli* en el agua de escaldado tras su acidificación con diferentes pH de inicio

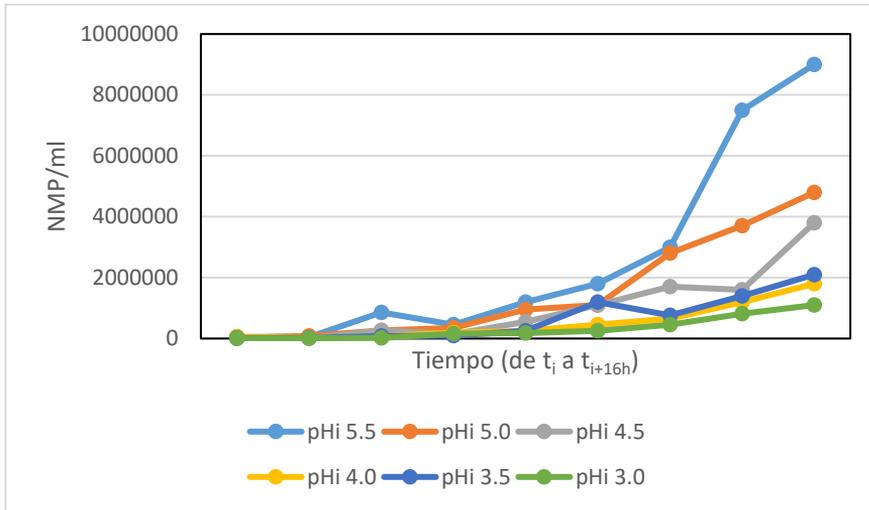


Figura 56. Evolución de la presencia de bacterias aerobias mesófilas (BAM) en el agua de escaldado tras su acidificación con diferentes pH de inicio

Como esperábamos, el pH aumentó a lo largo del proceso de escaldado debido a la acumulación de materia orgánica (Figuras 55 y 56). La evolución de *E. coli* mostró una clara diferencia entre los casos en los que el pH inicial era superior o inferior a 4'5. Con valores iniciales de pH de 3'0, 3'5 y 4'0, la evolución de *E. coli* se mantuvo en una pendiente mínima ($p < 0,05$). Asimismo, en el caso de las bacterias aerobias mesófilas (BAM), el gradiente de las curvas entre las series de pH iniciales fue evidente. La presencia/ausencia de *Salmonella*, que fue el parámetro principal del objetivo planteado, confirmó la eficacia de esta medida, mostrándose claramente influenciada por la acidificación.

Cuando el pH inicial es de 5'5, *Salmonella* aparece después de 6 horas. Cuando el pH inicial es de 5'0, aparece regularmente después de 6h. Cuando el pH inicial es de 4'5, la detectamos después de 8h. Si el pH

inicial es de 4'0, *Salmonella* es detectada después de 10h. Cuando el pH inicial es de 3,5, la aparición es tras 14h. Y cuando el pH inicial es de 3'0, el resultado es la ausencia de *Salmonella* a lo largo del proceso. Los resultados de la acidificación del agua de escaldado muestran una influencia significativa desde el punto de vista estadístico ($p < 0.05$). Los resultados de la acidificación del agua de escaldado no alteraron las características organolépticas de las muestras, no mostrándose defectos evidentes, como podemos apreciar en la Tabla 23.

Los pavos pueden aportar al agua un gran número de microorganismos de piel y plumas, así como también habrá cierto grado de defecación involuntaria que añade muchas bacterias fecales (Mead, 2004). Debido a esto, puede producirse una acumulación inicial reflejada en los recuentos microbianos, pero dependiendo del uso del agua y de la temperatura, dicho contenido microbiano debería estar controlado y el número de organismos presentes debería ser relativamente constante (Mead, 2004). Como cabía esperar, las temperaturas de escaldado más altas tienen un mayor efecto en la reducción de la carga microbiana del agua de escaldado, siendo los recuentos viables totales y de Enterobacteriaceae entre 10^2 y 10^3 veces menores que en escaldados "suaves" (Mulder y Dorresteyjn, 1977). Slavik y col. (1995) consideraron que no hay tal beneficio en la reducción de la contaminación de las canales por *Salmonella* y *Campylobacter*. Sin embargo, Yang y col. (2001) consiguieron, tras escaldado a 50 y 60°C, la reducción de *C. jejuni* en un 1'5 y 6'2 log ufc/ml en agua y <1 y >2 log ufc/cm² en piel de pollo; la reducción de *Salmonella* Typhimurium fue de <0'5 y >5'5 log ufc/ml en agua y <0'5 y >2 log ufc/cm² en piel, respectivamente.

Tabla 23. Análisis sensoriales tras la acidificación del agua de escalado

Muestra	1 ^{er} día vida útil				Mitad vida útil				Final vida útil				Sb
	Ag	Ent	Col	Ol	Ag	Ent	Col	Ol	Ag	Ent	Col	Ol	
Canal 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 8	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 9	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Canal 10	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 8	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 9	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pechuga 10	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 5	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 8	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 9	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Muslo 10	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Ag: Aspecto general; Ent: Integridad; Col: Color; Ol: Olor; Sb: Sabor; N: Normal

Teniendo en cuenta este efecto temporal, podría contemplarse aplicar más “golpes” de calentamiento a lo largo de la etapa de escaldado. Sin embargo, sería necesario más tiempo de trabajo, incrementar costes energéticos y aumentar el suministro de agua caliente (para aumentar la temperatura), así como de agua fría para volver a la temperatura de trabajo de escaldado. Aplicar todas estas condiciones aumentaría los costes económicos, pudiendo resultar insostenible.

Según Buhr y col. (2014), debe evitarse el escaldado a una temperatura excesivamente alta para evitar la cocción parcial de la superficie del músculo de la pechuga, que provoca vetas blancas y el endurecimiento de la carne. Un escaldado más caliente o prolongado puede ser mejor para el desplumado y el control de *Salmonella*, pero un escaldado excesivo aumentaría la dureza de la carne de pechuga de pavo o causaría pérdida de peso (Nunes, 2011; Barbut, 2015). Según Schilling y col. (2014), en general, el escaldado fuerte puede causar decoloración en la piel gruesa de las aves jóvenes. Sin embargo, Mead (2004) sostiene que los pavos y los patos requieren el uso de temperaturas más altas (escaldado "duro") para desprender las plumas más difíciles. Otros autores han descrito otras posibilidades, como tres tanques de escaldado secuenciados que reducen la temperatura de forma secuencial, para solucionar estos problemas (Russell, 2007), pero no han mostrado resultados consistentes en cuanto al control de *Salmonella* y requieren más recursos económicos. En nuestro trabajo, el aumento de temperatura no se aplicó correctamente a las canales, sino al agua de escaldado en mitad del proceso. Después de que el agua de escaldado

volviera a su temperatura habitual (52°C), el proceso de escaldado continuó. Se observó una clara influencia en los recuentos de *Salmonella* tras el calentamiento (Figura 54).

En cuanto a otros microorganismos, en ensayos de laboratorio realizados con canales de aves de corral inoculadas artificialmente con *Escherichia coli* K12 y *Campylobacter jejuni* AR6, y utilizando un sistema piloto desarrollado usando inmersión por lotes, publican reducciones globales de 1'31 log ufc/cm² en los recuentos de *E. coli* K12 después de 20s a 80°C de tratamiento; y de 1'66 log ufc/cm² para *C. jejuni* AR6, conseguidas mediante un tratamiento de 30s a 75°C (Corry y col., 2007). De acuerdo con Mead (2004), la supervivencia de las bacterias en el agua de escaldado también se ve afectada por el pH, que suele ser de aproximadamente 6'0, debido a la disociación del urato de amonio presente en las heces. Este autor considera que este pH está cerca del óptimo para la resistencia al calor de la *Salmonella*, e informa de datos de alcalinización en condiciones de laboratorio, así como menciona una reducción de los recuentos viables totales y de los coliformes en una planta de procesamiento (Humphrey y col., 1984). Sin embargo, los inconvenientes están relacionados con la manipulación de las canales con los productos utilizados para alcalinizar. Por su parte, no se informa de resultados aplicando la acidificación.

En este contexto, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, sería una opción potencial aplicar (o combinar con el tratamiento de calentamiento) la acidificación del agua del tanque de escaldado.

En nuestro trabajo, y como puede apreciarse en la Tabla 22, la disminución del pH muestra paralelamente una disminución de la detección de *Salmonella* a lo largo del proceso de escaldado, afectando también a los indicadores higiénicos (MAB y *E. coli*) (Figuras 55 y 56). El límite de pH generalmente aceptado para *Salmonella* (pH = 4,5) (Mossel y col., 2006) es coherente con nuestros resultados, donde sólo en un caso se detecta *Salmonella* por debajo de este valor (4'46, tras 14h – ver Tabla 22-). Esto concuerda con la opinión de Buncic y Sofos (2012), según la cual los niveles de pH alcalino (9,0) o ácido (3-4) reducen la resistencia al calor de *Salmonella*, mientras que la materia orgánica y el ácido úrico asociado derivados de las heces de las aves en el tanque reducen los valores de pH, los mantienen cerca de la neutralidad y favorecen el crecimiento de *Salmonella*.

El pH en el que aparece *Salmonella* es diferente en cada caso, y depende del pH inicial. Este pH inicial parece tener más influencia a la hora de evitar la presencia de *Salmonella*, y cuanto más bajo es el pH inicial, mayor es el tiempo antes de la aparición de *Salmonella*. Según Irshad y Acun (2013), las cantidades de materia seca y microorganismos en el agua de escaldado aumentan con el tiempo. Además, la entrada de un elevado número de canales de ave en los tanques de escaldado provocará la contaminación del agua en un breve periodo de tiempo (Incili y Çalicioglu, 2018). Una vez que la acumulación de materia orgánica y contaminación microbiana es suficientemente alta, esta acumulación puede suponer una mayor presencia de *Salmonella*, cubriendo el efecto del pH. Además, *Salmonella* utiliza a veces mecanismos para sobrevivir a condiciones desfavorables de pH y puede alcanzar la homeostasis del pH

(Foster y Hall, 1990), o la RTA -Respuesta de Tolerancia Ácida- que protege a *Salmonella* spp. a niveles bajos de pH (pH 3 a 4), activada cuando los valores de pH ambientales están entre 6'0 y 5'5 y cuando falla la homeostasis del pH (Krulwich y col., 2011).

Debido a estas distintas características, el control efectivo de *Salmonella* se ha convertido en un proceso complejo (Keerthirathne y col., 2019). Todos estos factores pueden influir en que, aunque cada vez *Salmonella* sea detectada en fases más avanzadas del proceso (excepto en el caso del pH inicial 4'5), lo haga a un pH inferior al de la experiencia anterior.

Okrend y col. (1986) ya informaron de la adición de ácido acético al 1% al agua de escaldado, bajando el pH a 3'38. Estos autores observaron que el olor era bastante acre, pero el efecto sobre la tasa de mortalidad de las dos salmonelas estudiadas fue notable. Este efecto sensorial no se describió con una reducción de la concentración de ácido acético al 0'1% (pH 4'38), pero dio lugar a resultados microbianos menos marcados, aunque aún muy sensibles. Asimismo, Sakhare y col. (1999) evaluaron la eficacia de los tratamientos de descontaminación microbiana (con ácido acético y láctico) en cada paso durante el procesado de pollos de engorde, minimizando las posibilidades de contaminación cruzada a partir del agua de escaldado. El aspecto de las canales no se vio afectado. En nuestro trabajo no se registraron defectos en los análisis sensoriales. Los tiempos de contacto de las canales no fueron largos y las canales permanecieron sin desplumar. Después, las canales se lavaron varias veces para ser aireadas posteriormente.

Además, se tuvo en cuenta el hecho de que la mayor parte de los productos de pavo se consumen sin piel.

Según nuestros resultados, y en lo que respecta al tratamiento de acidificación del agua de escaldado, el mejor tratamiento es un punto de partida de pH=3 (impidiendo además el aumento progresivo debido a la materia orgánica) o incluso ligeramente superior, si se aplicase una dosis progresiva de agua de escaldado (controlando el nivel de pH gracias a una línea de sondeo). No es recomendable aplicar la acidificación por debajo de pH=3 para evitar daños en los equipos e instalaciones.

Es interesante destacar que el tiempo de contacto entre las canales y el agua de escaldado nunca es superior a 3 minutos; y después de este paso, las canales tienen que pasar por diferentes pasos posteriores como el desplumado, la evisceración y diferentes procesos de lavado. Por este motivo, además de los resultados de nuestros análisis sensoriales, consideramos que este tratamiento de pH no afecta directamente a las propiedades de las canales (rigor mortis, sangrado o posible deterioro de la piel, carne pálida blanda exudativa -PSE-, etc.) y la calidad sigue siendo satisfactoria. Aunque, insistimos, en nuestra experiencia, no se encontraron defectos sensoriales, sería aconsejable realizar un análisis sensorial más profundo de las canales en las condiciones seleccionadas antes de su aplicación definitiva. En este sentido, es destacable que bajo pH 4'5 no se detectó *Salmonella* en un 98'1% de las mediciones.

Otra medida a combinar podría ser el diseño de un método de eliminación de la materia orgánica (portadora de materia fecal) y del material de cama adherido a las plumas, que aumentan el pH, así como su propia contaminación. Dos medidas a estudiar en este aspecto serían aumentar el tratamiento de lavado de los tanques de escaldado, y la eliminación de la materia orgánica por filtración continua.

Las dos medidas estudiadas (calentamiento y acidificación del agua de escaldado) han mostrado su eficacia en la reducción de la aparición de *Salmonella* en la etapa de escaldado. Para evitar las desventajas asociadas a las medidas más duras en cada caso, se propone el calentamiento del agua de escaldado a 70°C, que puede repetirse si las desventajas en costes y recursos expuestos del proceso fueran aceptables. Esta medida podría ser combinada con un pH del agua del tanque de escaldado siempre inferior a 4,5, utilizando un ácido que no afecte a la calidad final de los productos y/o a los elementos implicados.

Sería interesante desarrollar una línea de estudios para combinar estas medidas con otras posibilidades, como un sistema de eliminación continua de materia orgánica, así como un análisis sensorial de las condiciones seleccionadas.

7.3. Descontaminación de canales mediante agua tratada con dióxido de cloro

Los resultados obtenidos en los distintos días de análisis se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla 24. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-
C	2.500	6.500	15.000	16.000	78.000	12.000	8.900	2.600	16.000	89.000	9.600	860
AM	6'5-10 ⁵	1'25-10 ⁵	1'5-10 ⁶	2'6-10 ⁵	1'65-10 ⁶	4'6-10 ⁵	9'5-10 ⁵	6.500	1'5-10 ⁶	7'8-10 ⁵	8'9-10 ⁵	85.000
Ec	8.900	1.500	1.300	850	18.500	11.200	4.500	1.860	17.200	9.600	1.900	550

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 25. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
C	16.000	5.500	7.600	1.500	19.000	8.600	8.900	3.600	17.800	8.900	9.800	1.900
AM	8'9-10 ⁵	1.12-10 ⁵	2'6-10 ⁵	1'1-10 ⁵	7'8-10 ⁵	1'25-10 ⁵	1'9-10 ⁵	69.000	8'7-10 ⁵	4'5-10 ⁵	1'5-10 ⁵	15.000
Ec	87.000	19.000	15.000	1.700	88.000	19.200	8.500	1.800	19.000	1.500	8.900	890

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 26. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-
C	26.000	68000	12.000	8.900	9.800	1.200	11.900	1.600	19.500	5.300	1.900	780
AM	7'8-10 ⁵	2'25-10 ⁵	5'5-10 ⁵	1'3-10 ⁵	1'25-10 ⁶	4'5-10 ⁵	8.8-10 ⁵	1'25-10 ⁵	7'8-10 ⁵	80.000	8'9-10 ⁵	1'6-10 ⁵
Ec	78.000	11.500	7.200	1.900	49.000	27.000	11.500	5.600	17.450	9.750	4.000	1.200

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 27. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-
C	76.000	15.000	8.600	1.300	89.000	11.600	13.600	4.600	19.700	7.500	6.200	1.600
AM	1'1·10 ⁶	4'5·10 ⁵	1'1·10 ⁵	71.600	8'5·10 ⁵	1'25·10 ⁵	5'5·10 ⁵	85.000	1'2·10 ⁶	8'9·10 ⁵	3'5·10 ⁵	56.000
Ec	17.500	5.600	1.300	500	5.500	2.600	2.500	650	22.200	8.600	11.900	1.400

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 28. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-
C	55.000	12.000	4.500	1.500	59.000	21.300	9.800	1.600	78.000	8.500	5.600	1.250
AM	9'8·10 ⁵	1'85·10 ⁵	2'3·10 ⁶	4'5·10 ⁵	7'5·10 ⁵	1'25·10 ⁵	95.000	85.000	1'8·10 ⁶	6'9·10 ⁵	2'4·10 ⁵	18.000
Ec	41.500	3.200	8.400	2.300	19.600	7.500	2.500	1.100	8.500	1.600	4.500	400

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 29. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
C	75.000	11.000	1.300	780	89.000	27.500	4.100	890	89.000	6.300	4.200	4.100
AM	1'3·10 ⁶	2'6·10 ⁵	8'8·10 ⁵	2'5·10 ⁵	7'5·10 ⁵	1'8·10 ⁵	7'8·10 ⁵	1'4·10 ⁵	7'8·10 ⁵	1'5·10 ⁵	1'5·10 ⁵	45.000
Ec	11.200	1.600	1.300	560	65.000	13.500	9.600	450	55.000	11.300	2.500	1.100

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 30. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
C	16.000	1.000	600	250	11.000	1.600	1.500	750	26.000	11.200	1.200	600
AM	1'2·10 ⁶	5'5·10 ⁵	1'1·10 ⁶	1'3·10 ⁵	8'8·10 ⁵	1'25·10 ⁵	5'7·10 ⁵	2'1·10 ⁵	2'2·10 ⁶	1'9·10 ⁵	1'5·10 ⁵	75.000
Ec	89.500	56.000	6.300	1.900	53.000	6.500	18.000	1.650	56.000	17.500	29.000	630

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 31. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-
C	75.000	11.000	14.500	1.600	89.000	6.100	10.800	2.600	88.000	6.900	6.300	5.500
AM	2'8·10 ⁶	6'65·10 ⁵	2'3·10 ⁶	4'5·10 ⁵	1'75·10 ⁶	4'65·10 ⁵	7'3·10 ⁵	1'8·10 ⁵	1'75·10 ⁶	3'9·10 ⁵	4'5·10 ⁵	1'3·10 ⁵
Ec	81.500	6.800	4.500	890	56.000	6.500	3.500	675	65.000	11.000	4.000	1.400

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 32. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado normal (con cloro libre residual entre 0.1-1 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
C	95.000	21.000	8.300	2.300	95.000	19.500	8.900	1.000	1'95·10 ⁵	45.000	8.200	900
AM	2'3·10 ⁶	1'6·10 ⁵	2'9·10 ⁵	39.000	1'65·10 ⁶	96.000	1'9·10 ⁵	69.000	2'85·10 ⁶	5'8·10 ⁵	6'6·10 ⁵	1'2·10 ⁵
Ec	19.200	1.700	2.500	1.060	45.000	12.100	20.300	1.700	89.000	20.300	7.500	790

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 33. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-
C	19.000	1.600	6.300	680	13.200	560	6.500	450	42.300	1.500	16.000	880
AM	7'5-10 ⁵	1'6-10 ⁵	1'5-10 ⁵	45.000	5'6-10 ⁵	16.000	1'5-10 ⁵	15.000	3'5-10 ⁶	2'8-10 ⁵	5'9-10 ⁵	54.000
Ec	11.200	960	8.600	350	10.300	1.300	5.300	780	19.300	550	3.700	880

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 34. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₃												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C	11.000	680	1.300	500	18.900	690	2.600	150	6.700	850	4.200	670
AM	9'6-10 ⁵	2'6-10 ⁵	3'2-10 ⁵	89.000	1'45-10 ⁶	1'3-10 ⁵	8'8-10 ⁵	73.000	1'75-10 ⁶	3'2-10 ⁵	5'3-10 ⁶	2'6-10 ⁶
Ec	96.000	760	10.300	850	8.300	1.200	8.200	530	29.000	690	7.600	250

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 35. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C	8.900	1.300	3.000	650	26.000	980	4.500	560	8.000	1.100	2.500	480
AM	1'5·10 ⁶	76.000	6'3·10 ⁵	19.000	8'9·10 ⁵	1'5·10 ⁵	6'5·10 ⁵	68.000	4'75·10 ⁶	6.500	1'9·10 ⁵	19.000
Ec	16.000	660	8.900	260	19.600	770	2.300	980	14.700	870	56.000	650

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 36. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C	11.000	560	3.200	880	14.000	1.600	6.300	250	19.700	860	8.500	550
AM	1'5·10 ⁶	67.000	2'5·10 ⁵	33.000	1'23·10 ⁶	78.000	8'6·10 ⁵	18.000	1'65·10 ⁶	45.000	2'8·10 ⁵	13.000
Ec	7.800	450	5.600	180	56.000	780	7.500	650	8.000	490	1.500	880

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 37. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C	5.600	460	9.600	580	1.400	560	2.850	140	7.800	890	4.300	870
AM	2'6·10 ⁶	7·10 ⁵	8'2·10 ⁵	1'9·10 ⁵	1'75·10 ⁶	8'9·10 ⁵	1'3·10 ⁶	4'5·10 ⁵	7'8·10 ⁵	68.000	6'5·10 ⁵	11.600
Ec	16.000	860	79.000	650	5.600	280	4.100	750	56.000	1.200	1.200	180

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 38. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-
C	12.500	450	1.500	460	28.000	560	6.300	180	1.300	890	5.500	780
AM	1'7·10 ⁶	96.000	3'5·10 ⁵	35.000	2'55·10 ⁶	7'8·10 ⁵	4'8·10 ⁵	16.000	1'85·10 ⁶	78.900	2'7·10 ⁵	14.500
Ec	17.500	540	4.600	270	6.300	650	1.500	190	16.300	650	4.700	160

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 39. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-
C	1'6·10 ⁵	5.600	15.200	690	18.500	980	4.600	550	25.200	8.200	2.500	250
AM	2'5·10 ⁶	5'3·10 ⁵	7'6·10 ⁵	56.000	1'55·10 ⁶	88.000	1'6·10 ⁵	14.000	5'7·10 ⁵	42.000	56.000	75.000
Ec	16.500	980	1.800	690	17.500	450	17.500	460	6.500	480	1.800	220

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 40. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-
C	15.500	880	2.300	110	18.900	990	4.500	650	15.000	750	1.250	450
AM	1'8·10 ⁶	45.000	7'8·10 ⁵	12.000	6'5·10 ⁵	90.000	4'5·10 ⁵	28.500	2'3·10 ⁵	68.000	8'9·10 ⁵	16.500
Ec	5.600	980	1.400	290	7.600	890	2.300	460	7.200	230	990	150

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 41. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (0.5 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-
C	2.300	300	1.300	750	27.400	1.850	1.800	150	15.200	780	2.800	280
AM	1'6·10 ⁶	7'8·10 ⁵	4'5·10 ⁵	19.000	7'8·10 ⁵	15.000	6'9·10 ⁵	1'5·10 ⁵	8'9·10 ⁵	4'6·10 ⁵	7'7·10 ⁵	25.300
Ec	3.200	1.300	1.600	450	2.800	250	1.550	360	1.500	780	2.300	1.400

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 42. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
C	15.000	3.500	1.200	450	12.500	1.300	2.300	680	4.000	960	1.300	480
AM	1'8·10 ⁶	98.000	7'5·10 ⁵	53.000	2'6·10 ⁵	18.000	1'6·10 ⁵	65.000	3'2·10 ⁵	32.000	4'5·10 ⁵	16.000
Ec	10.500	880	2.500	230	12.500	460	9.800	330	18.600	980	970	150

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 43. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
C	3.600	750	1.400	280	4.500	560	6.500	1.100	5.600	850	2.300	180
AM	2'1·10 ⁵	1'89·10 ⁵	4'5·10 ⁵	66.000	1'22·10 ⁶	46.000	6'8·10 ⁵	1'65·10 ⁵	7'8·10 ⁵	56.000	4'5·10 ⁵	19.500
Ec	4.500	480	3.200	770	8.800	990	1.500	260	7.500	1.200	6.500	300

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 44. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 1, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-
C	1.200	650	1.300	180	3.500	650	2.300	680	1.850	250	2.300	460
AM	8'5·10 ⁵	7'1·10 ⁵	2'5·10 ⁵	85.000	8'56·10 ⁵	78.000	7'8·10 ⁵	1'4·10 ⁵	6'8·10 ⁵	1'8·10 ⁵	6'5·10 ⁵	36.000
Ec	6.200	740	3.600	450	6.500	660	1.300	630	2.800	850	1.300	190

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 45. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
C	7.500	3.100	2.300	660	2.300	450	1.800	450	6.300	860	4.500	260
AM	3'3·10 ⁶	98.000	2'3·10 ⁵	45.000	3'2·10 ⁵	65.000	8'9·10 ⁵	12.500	6'5·10 ⁵	1'8·10 ⁵	6'5·10 ⁵	23.000
Ec	8.900	480	2.500	190	2.300	190	780	120	8.700	460	1.600	680

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 46. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
C	1.600	850	1.500	780	1.500	230	6.800	480	7.100	1.300	1.800	230
AM	8'5·10 ⁵	14.000	55.000	23.000	4'8·10 ⁵	18.000	4'6·10 ⁵	23.000	6'5·10 ⁵	15.500	6'6·10 ⁵	38.500
Ec	2.500	290	5.900	230	9.800	875	2.200	450	1.230	890	2.300	740

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 47. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 2, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+
C	2.300	850	1.800	650	8.500	450	1.750	230	8.800	1.900	1.200	560
AM	6'5-10 ⁵	1'8-10 ⁵	2'3-10 ⁵	80.000	1'25-10 ⁶	1'2-10 ⁵	4'5-10 ⁵	15.000	7'8-10 ⁵	16.000	8'9-10 ⁵	2'3-10 ⁵
Ec	4.500	660	1.200	560	3.300	580	2.300	780	6.500	2.200	1.800	450

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 48. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, inicio de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₀												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
C	1.800	250	1.200	360	2.300	560	3.600	225	2.300	160	3.200	880
AM	2'5-10 ⁶	1'9-10 ⁵	8'9-10 ⁵	1'2-10 ⁵	2'3-10 ⁶	98.000	5'5-10 ⁵	36.000	1'25-10 ⁶	4'5-10 ⁵	6'5-10 ⁵	59.000
Ec	7.800	1.300	3.200	780	3.200	620	980	150	6.800	780	970	100

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 49. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, mitad de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₈												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-
C	2.200	450	980	150	6.300	1.300	1.200	280	8.900	2.400	2.300	2500
AM	1'3·10 ⁶	85.000	8'9·10 ⁵	99.000	7'8·10 ⁵	39.000	6'5·10 ⁵	45.000	2'25·10 ⁶	2'3·10 ⁵	6'6·10 ⁵	65.000
Ec	17.100	980	2.600	1.100	11.400	4.600	3.200	230	4.700	640	1.200	330

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Tabla 50. Resultados obtenidos tras tratamiento con agua de lavado adicionada con dióxido de cloro (1 ppm). Día 3, final de la jornada (recuentos expresados en ufc/g)

t ₁₆												
	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED	IA	ID	EA	ED
S	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+
C	7.500	650	1.800	250	6.500	470	1.150	260	9.800	730	2.200	130
AM	1'6·10 ⁶	95.000	6'7·10 ⁵	46.000	9'8·10 ⁵	79.000	7'4·10 ⁵	37.000	1'35·10 ⁶	9'7·10 ⁵	4'5·10 ⁵	77.000
Ec	6.700	980	2.300	675	4.500	650	3.600	880	10.500	1.100	7.400	720

S: *Salmonella* (+: presencia; -: ausencia)

C: *Campylobacter* – AM: Aerobios mesófilos – Ec: *E. coli*

IA: Interior antes de lavado – ID: Interior tras lavado

EA: Exterior antes de lavado – EA: Exterior tras lavado

Hemos considerado estos resultados tomando como referencia el cumplimiento de la legislación vigente. De hecho, en el caso de *Campylobacter* la referencia ha sido la normativa de pollos de engorde ya referenciada (Anónimo, 2017). También hemos tomado en consideración el cálculo de vida útil de los productos, lo que lleva a fijar los límites especificados en *Material y Métodos* al inicio de la cadena de montaje (canales que van a ir directamente al oreo) y que durante el proceso sufren contaminaciones secundarias y cruzadas, manipulaciones, etc. Para el especial caso de *E. coli*, hemos partido de un objetivo más exigente a la recomendación CENAN (1982), por ser un indicador fecal, elemento crucial en las muestras estudiadas, particularmente en el interior de la canal. De hecho, al ser separada la canal para la carne noble durante las etapas previas de despiece, nos permite luego poder ajustar el resultado a la exigencia de los límites descritos marcados por el CENAN. También hay que tener en cuenta que estos objetivos están basados en la experiencia y el conocimiento de toda la cadena de montaje de producción de carne fresca de pavo y de los elaborados frescos de los mimos a lo largo de muchos años en la empresa en donde se han desarrollado estos estudios.

En la Tabla 51 podemos observar un resumen de los resultados en función del tratamiento.

Tabla 51. Resultados obtenidos tras diferentes tratamiento del agua de lavado (% de incumplimientos de los límites establecidos)

	Agua de lavado normal		Agua de lavado + ClO ₂ (0'5 ppm)		Agua de lavado + ClO ₂ (1 ppm)	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
<i>Salmonella</i>	25'9	14'81	14'81	3'7	11'1	7'4
<i>Campylobacter</i>	100	70'3	29'62	0	25'9	7'4
Aerobios M.	96'3	51'85	44	18'51	37	14'81
<i>E. coli</i>	100	51'85	14'81	3'7	18'51	3'7

De estos valores se desprende una mejora importante ($p < .05$) de todos los parámetros microbiológicos en relación al lavado con agua normal, tanto en el tratamiento que incluye la adición de ClO₂ (0'5 ppm) como en la correspondiente al tercer estudio (adición de este compuesto con 1 ppm). La eficacia del dióxido de cloro se deduce de estos resultados.

Sin embargo, no podemos considerar igualmente significativa la mejora de la eficacia del tratamiento con la adición de 1ppm de ClO₂ con respecto a la de 0'5 ppm. Esto supone la posibilidad de uso de la menor dosis de ClO₂ para la mejora de la eficacia de lavado. Esta conclusión es relevante, ya que a pesar de que se ha demostrado que el dióxido de cloro no afecta al producto desde el punto de vista organoléptico o físico-químico, además de no interferir de manera significativa en los procesos a nivel logístico o en relación a la actividad de los operarios, siempre es más conveniente el uso de la menor cantidad de desinfectante en el agua para evitar complicaciones indeseables, además del correspondiente ahorro de costes. Además, esto es importante en la posible futura

reconsideración por parte de los expertos y organismos competentes de la Unión Europea para su potencial aprobación de uso.

Igualmente, conforme a los resultados reflejados en la Tabla 51, los tratamientos con ClO_2 han resultado más eficaces en la parte exterior de la canal que en la interior. Esto es coherente con el hecho de que los microorganismos determinados provienen en su mayoría del tracto digestivo y de la contaminación fecal. Por ello, la mejora de los resultados pasaría bien por potenciar el lavado y el arrastre interior (algo muy complicado por la velocidad de la cadena) o actuar previamente por arrastre en el lavado interior, por ejemplo, tras la evisceración. Es en esta opción donde podría aprovecharse la eficacia de un desinfectante, como en este caso el ClO_2 .

Estas consideraciones pueden mantenerse a la vista de las Tablas 24 a 50, y en función de los distintos momentos del día en que se han determinado los parámetros microbiológicos, si bien no se pueden establecer diferencias entre dichos momentos. Los resultados han variado, en este sentido, en función de la carga microbiana inicial, diferente en función de la canal, y razón por la que es interesante observar los resultados en cada muestra individual, como ha sido expresado en estas tablas. El hecho de que no puedan establecerse diferencias significativas entre los momentos de análisis puede interpretarse como que a lo largo del proceso y de la jornada de trabajo las contaminaciones cruzadas, o secundarias antes de estas etapas de lavado, están suficientemente controladas. Los resultados lineales muestran que siempre después de los tratamientos de lavados se

mejoran sensiblemente los resultados, tanto de los indicadores de calidad, como de los patógenos.

Los datos obtenidos por diversos autores son muy variados en lo que se refiere a concentraciones del producto, tiempo de tratamiento, a su vez relacionado con el tipo de aplicación (espray, inmersión...), o diseño experimental, así como al momento dentro de la línea de sacrificio, o muestra a aplicar. Por ello no es fácil establecer una comparativa directa con nuestros resultados, aunque una de las fortalezas de nuestro trabajo es lograr reducir la prevalencia de todos los parámetros, y particularmente de *Salmonella*, a muy bajas concentraciones de ClO₂.

La eficacia de soluciones de dióxido de cloro ha sido ya demostrada a concentraciones sensiblemente superiores a las usadas en este trabajo para agua de enfriamiento de canales. Concentraciones de 5 ppm mejoraban obviamente los resultados de concentraciones de 3 ppm en primeras experiencias (Lillard, 1980). También, subiendo su concentración de 0 a 1'39 mg/L se reducía el recuento de bacterias hasta el punto de que no se pudieron aislar salmonelas del agua refrigerada ni de las canales de pollos de engorde refrigeradas (Thiessen y col., 1984). Mucho más recientemente, Ma y col. (2017) obtuvieron una actividad antimicrobiana superior al 98'2% de reducción usando 5-20 ppm frente a bacterias y hongos, respectivamente. Estos autores apuntan que una concentración de hasta 40 ppm en agua de bebida no mostró toxicidad en las pruebas realizadas, aportando una actividad desinfectante que incrementaba la seguridad. Recién aprobado el uso del dióxido de cloro

en Estados Unidos para el enfriamiento de canales de pollo, se comprobó su efecto contra *Salmonella typhimurium*, siendo insignificantes los efectos mutagénicos contrastados con dosis 4 veces superiores a las permitidas (Tsai y col., 1997). También existen estudios de aquellos años que ponían en duda su mayor eficacia a dosis más bajas (0-20 ppm) en canales de animales de mayor peso, como el vacuno (Cutter y Dorsa, 1995). Stivarius y col. (2002), evaluaron un tratamiento de 3 min-200 ppm de dióxido de cloro en combinación con agua opsonizada (7-15) min en cortes de vacuno, con reducciones de ≤ 0.8 log cfu/g para *E. coli* y *Salmonella Typhimurium*. Más recientemente, y usando 50 ppm, Alonso-Hernando y col. (2013a; 2013b; 2013c) llevaron a cabo diversos estudios sobre muslos de pollo que valoraban diferentes agentes descontaminantes, frente a distintos microorganismos y a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento. Aunque obtuvieron mejores resultados a 4 y 50°C, los resultados fueron en general poco significativos sobre diversos microorganismos (*Salmonella* incluido), y especialmente escaso frente microorganismos psicrotrofos. Stopforth y col. (2007) encontraron reducciones suaves en la prevalencia de *Salmonella* tras pulverizar canales con dióxido de cloro, mientras que Purnell y col. (2014) tampoco encontraron ventajas adicionales en el uso del dióxido de cloro (6'48-9'03 ppm) en relación con el agua normal para la disminución de *Campylobacter*, enterobacterias y *Pseudomonas* en pechuga y piel del cuello de canales de pollo tras la evisceración y previamente a su enfriamiento. Guastalli y col. (2016) encontraron que este compuesto (5 ppm) no reducía los recuentos de indicadores microbiológicos y *Salmonella* Enteritidis, probados en ausencia y presencia de materia orgánica. Duan y col. (2017), consiguieron con una

concentración de 100 mg/L en muestras de canales de pollo mejores resultados que los del agua sin tratar, aunque con inferior eficacia a otros tratamientos. Sin embargo, y en relación con el uso de ClO₂ para descontaminación de canales de vacuno, Kocharunchitt y col. (2020), destacan su influencia en la disminución de la contaminación por patógenos entéricos. Así, estos autores, considerando que *E. coli* es más susceptible al estrés oxidativo durante el enfriamiento por pulverización, destacan estudios donde tanto el ClO₂ como el ácido peroxiacético, a niveles letales (20 y >200 ppm, respectivamente) aplicados durante el enfriamiento por atomización, producían una inactivación pronunciada de las cepas de *E. coli* y *Salmonella* Enterica, logrando una reducción >4 log al final del enfriamiento. Estos resultados indican que una aplicación basada en oxidantes durante la refrigeración por pulverización como intervención antimicrobiana podría ser eficaz para minimizar los problemas asociados a la contaminación por patógenos entéricos en la carne de vacuno (Kochuranchitt y col., 2020).

En un contexto más específico, de aves, Villarreal y col. (1990) consiguieron mediante la refrigeración en dióxido de cloro liberado lentamente al 1% y hielo, la eliminación de cualquier indicio de *Salmonella* recuperable de canales de pavo contaminadas con dicho microorganismo.

Para parámetros microbiológicos semejantes a los determinados en nuestro estudio, Berrang y col. (2011), y a concentraciones igualmente altas (50 ppm) de ClO₂, obtuvieron una prevalencia claramente inferior de *Campylobacter* y *E. coli* en canales de broilers tratadas antes y después

del desplumado con ClO₂ en relación con aquellas sólo tratadas con agua control. También disminuyó la prevalencia de *Salmonella*. Kijowski y col. (2013) obtuvieron una reducción del 44% en la presencia de *Salmonella* Enteritidis y una mayor acción frente a *Staphylococcus aureus* en relación con otros compuestos, usando ClO₂ (5 ppm) para descontaminación de muestras extraídas de canales de pollo. En alas de pollo sumergidas 10 minutos en soluciones de ClO₂ (0'3-0'5%), y luego almacenadas 9 días a 4°C, las bacterias aerobias mesófilas totales se redujeron un 13%, permitiendo incrementar su vida útil (Hecer y Guldás, 2011). De una manera general, y a concentraciones más cercanas a las ensayadas en nuestro trabajo, Northcutt y col. (2008) comprobaron que el enfriamiento de canales por inmersión con cloro (20 ppm) y dióxido de cloro (3 ppm) eliminaba las bacterias de las superficies de dichas canales. Los datos también mostraron que el agua de refrigeración clorada reducía los niveles bacterianos, pero con mayor contaminación cruzada en las canales por *Campylobacter* y *Salmonella* en comparación con el dióxido de cloro.

El dióxido de cloro también se ha mostrado efectivo como agente sinérgico al uso de ultrasonidos para la reducción, e incluso inactivación (en el caso de un preenfriamiento a 16°C) de *Salmonella* Typhimurium y *E. coli* en el agua de enfriamiento de canales de aves (Rossi y col., 2021).

Consideramos que, en función de nuestros resultados, y obviamente de los estudios de los que se pudiera derivar la aprobación del uso de ClO₂, su actividad desinfectante sería eficaz como coadyuvante del agua, siempre generándolo *in situ*, y en una concentración de 0'5 ppm

en dicho punto. Para potenciar ese efecto, y en función de las posibilidades de la línea y del matadero, podría ser conveniente incluir más puntos de lavado y arrastre en puntos críticos como, por ejemplo, tras la evisceración, y en etapas finales donde ya no exista manipulación. La etapa final, donde el pavo está en percha, podría ser la idónea. También la temperatura es considerada un coadyuvante de gran importancia (Alonso-Hernando y col., 2013c).

7.4. Descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor

Los resultados obtenidos de la descontaminación de canales de pavo usando cinco tratamientos con vapor a diferentes tiempos y temperaturas se muestran en las Tablas 52 a 61, incluyendo estimaciones de reducción porcentual, así como comentarios entre las mismas que aclaran los elementos de discusión. Estos comentarios incluyen las observaciones generales de tipo organoléptico y consideraciones sobre la posibilidad de extrapolar comercialmente las condiciones ensayadas.

Tabla 52. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 100°C durante 20 segundos

	Superficie	S	C	EC	EO
Canal 1	Exterior antes	+	1600	560	OK
	Exterior después	-	200	<100	QT
	Interior antes	+	15000	1800	OK
	Interior después	-	750	230	OE
Canal 2	Exterior antes	+	890	860	OK
	Exterior después	-	<100	<100	QT
	Interior antes	+	12300	8500	OK
	Interior después	-	780	560	OE
Canal 3	Exterior antes	+	1200	890	OK
	Exterior después	-	120	250	QT
	Interior antes	-	8600	6300	OK
	Interior después	-	960	450	OE
Canal 4	Exterior antes	-	980	580	OK
	Exterior después	-	100	<100	QT
	Interior antes	+	6500	8900	OK
	Interior después	-	880	460	OE
Canal 5	Exterior antes	+	970	630	OK
	Exterior después	-	<100	160	QT
	Interior antes	+	11000	1600	OK
	Interior después	-	750	480	OE

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli* EO: Estado organoléptico
 - ausencia + presencia

OK: Estado correcto

QT: Quemado superficial completo

OE: Oxidación interior y ennegrecimiento

El tratamiento a 100°C durante 20 segundos resulta, como era previsible, bastante agresivo, debido a la disposición de un tiempo de contacto amplio con una temperatura muy alta para garantizar unas condiciones microbiológicas óptimas. El tratamiento, desde el punto de vista microbiológico, es obviamente muy eficaz, con una reducción del

100 % de *Salmonella* y observación total de los límites considerados en Material y Métodos para los otros dos parámetros estudiados. En términos absolutos, la reducción media para *Campylobacter* y *E. coli* es del 90'48% (92'46% para *Campylobacter* y 88'5% para *E. coli*). A su vez, la reducción de la contaminación en la parte interior de las canales en relación con la exterior es de un 2% inferior en *Campylobacter* y un 1'6% en *E. coli* (Tabla 53). Hay que reseñar que algunos de estos porcentajes pueden estar levemente sobrevalorados al considerar como 100% de reducción los casos de recuentos <100 ufc/g o cm².

Tabla 53. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 100°C durante 20 segundos

	S	C	EC
Exterior canal 1	100	87'5	100
Exterior canal 2	100	100	100
Exterior canal 3	100	90	72
Exterior canal 4	100	89'8	100
Exterior canal 5	100	100	74'6
Media exterior	100	93'46	89'3
Interior canal 1	100	95	87'3
Interior canal 2	100	93'7	93'5
Interior canal 3	ND	88'9	92'9
Interior canal 4	100	86'5	94'9
Interior canal 5	100	93'2	70
Medina interior	100	91'46	87'7
Media general	100	92'46	88'5
Total	100	90'48	

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli*

Sin embargo, el tratamiento no es satisfactorio desde el punto de vista organoléptico. No sólo se quema la piel, sino también la carne,

además de producir ennegrecimiento/oxidación de la canal por dentro. Por ello, no sería un tratamiento aplicable comercialmente.

Tabla 54. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 90°C durante 20 segundos

	Superficie	S	C	EC	EO
Canal 1	Exterior antes	+	3200	420	OK
	Exterior después	-	850	310	QS
	Interior antes	+	10800	1600	OK
	Interior después	-	3200	420	QI
Canal 2	Exterior antes	-	6300	1300	OK
	Exterior después	-	780	210	QS
	Interior antes	+	2300	4500	OK
	Interior después		890	390	QI
Canal 3	Exterior antes	+	1080	890	OK
	Exterior después	-	560	<100	QS
	Interior antes	+	6500	9800	OK
	Interior después	-	930	485	QI
Canal 4	Exterior antes	+	2100	770	OK
	Exterior después	-	770	350	QS
	Interior antes	-	4600	1400	OK
	Interior después	-	960	460	QI
Canal 5	Exterior antes	+	1800	1080	OK
	Exterior después	-	580	420	QS
	Interior antes	+	8500	2300	OK
	Interior después	-	2100	490	QI

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli* EO: Estado organoléptico

- ausencia + presencia

OK: Estado correcto

QS: Quemado superficial

QI: Quemadura interior

El tratamiento a 90°C durante 20 segundos resulta, aunque algo menos agresivo que el primer estudio, muy similar en cuanto a las

conclusiones que podemos extraer de sus resultados. El tratamiento, desde el punto de vista microbiológico, mantiene una gran eficacia, reduciendo un 100% *Salmonella* en los casos en que estaba presente, y cumpliendo los límites propuestos un 100% de las veces en el caso de *E. coli* y en un 90% para *Campylobacter*. A pesar de ello, si acudimos a los datos absolutos de reducción porcentual de los recuentos de *Campylobacter* y *E. coli*, las cifras son más irregulares que en el anterior tratamiento, y menos rotundas, aunque con un importante nivel de reducción. Así, la reducción media para *Campylobacter* y *E. coli* es del 72'23% (71'25% para *Campylobacter* y 73'21% para *E. coli*) (Tabla 55).

Tabla 55. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 90°C durante 20 segundos

	S	C	EC
Exterior canal 1	100	73'5	26'2
Exterior canal 2	ND	87'7	83'9
Exterior canal 3	100	48'2	100
Exterior canal 4	100	63'4	54'6
Exterior canal 5	100	67'8	61'2
Media exterior	100	68'12	65'18
Interior canal 1	100	70'4	73'8
Interior canal 2	100	61'3	91'4
Interior canal 3	ND	85'7	95'1
Interior canal 4	ND	79'2	67'2
Interior canal 5	100	75'3	78'7
Medina interior	100	74'38	81'24
Media general	100	71'25	73'21
Total	100	72'23	

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli*

Sin embargo, de nuevo, el tratamiento no es satisfactorio desde el punto de vista organoléptico, con numerosas quemaduras tanto

superficiales como interiores, y aunque con daños menos graves que en el primer estudio, esta apariencia dificulta las labores de despiece para un posterior uso de las piezas, así como la venta de canal directa. Por lo tanto, no sería una opción válida comercialmente.

Tabla 56. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 80°C durante 20 segundos

	Superficie	S	C	EC	EO
Canal 1	Exterior antes	-	1800	1500	OK
	Exterior después	-	750	550	QS
	Interior antes	+	2800	4400	OK
	Interior después	-	990	1060	OK
Canal 2	Exterior antes	+	1300	2300	OK
	Exterior después	-	650	460	OK
	Interior antes	+	4500	5800	OK
	Interior después	-	1500	420	OK
Canal 3	Exterior antes	+	1300	890	OK
	Exterior después	-	860	230	OK
	Interior antes	+	6500	2800	OK
	Interior después	-	890	380	OK
Canal 4	Exterior antes	+	1900	1200	OK
	Exterior después	-	870	380	QS
	Interior antes	-	3800	3600	OK
	Interior después	-	1400	960	OK
Canal 5	Exterior antes	-	1450	870	OK
	Exterior después	-	640	330	OK
	Interior antes	+	8700	5300	OK
	Interior después	-	980	450	OK

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli* EO: Estado organoléptico

- ausencia + presencia

OK: Estado correcto

QS: Quemado superficial

El tratamiento a 80°C durante 20 segundos resulta equilibrado en el balance eficacia microbiológica y resultados organolépticos. Desde el punto de vista microbiológico, la eficacia es muy significativa en patógenos (100% de reducción de *Salmonella* en los casos en que estaba presente y un 90% en relación con los límites establecidos para *Campylobacter*). El indicador de higiene, *E. coli*, aún presenta alguna prevalencia en relación a los límites establecidos, respetados en el 85%. Los datos absolutos de reducción porcentual de los recuentos de *Campylobacter* y *E. coli* muestran cifras muy comparables a las obtenidas para el mismo tiempo aplicando 90°C, que sólo para *Campylobacter* se muestra superior en su eficacia, particularmente sobre el exterior de las canales. Los resultados frente a *E. coli* se han mostrado con mejores dígitos en el tratamiento a 80°C, aunque en registros comparables. En este tratamiento, la reducción media para *Campylobacter* y *E. coli* es del 69'51% (62'19% para *Campylobacter* y 76'84% para *E. coli*) (Tabla 57), un 2'72% inferior al anterior tratamiento.

Los resultados organolépticos, aunque con alguna quemadura superficial, harían planteable el posterior aprovechamiento para despiece como su venta directa como canales. Sería necesario hacer más volumen de muestras y conocer el porcentaje más cierto de canales con quemaduras superficiales, que podrían aprovecharse para despiece. Esta consideración, unida a la importante reducción microbiológica, especialmente en patógenos, hacen de estas condiciones una posibilidad a considerar en las medidas de descontaminación de canales de pavo.

Tabla 57. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 80°C durante 20 segundos

	S	C	EC
Exterior canal 1	ND	58'4	63'4
Exterior canal 2	100	50'0	80'0
Exterior canal 3	100	33'9	74'2
Exterior canal 4	100	54'3	68'4
Exterior canal 5	ND	55'9	62'1
Media exterior	100	50'5	69'62
Interior canal 1	100	64'7	76'0
Interior canal 2	100	66'4	92'8
Interior canal 3	100	86'3	86'5
Interior canal 4	ND	63'2	73'4
Interior canal 5	100	88'8	91'6
Medina interior	100	73'88	84'06
Media general	100	62'19	76'84
Total	100	69'51	

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli*

Veremos a continuación los resultados de la aplicación de vapor en tiempos inferiores a 20 segundos, y en tratamientos de menor agresividad en relación a temperaturas. Por un lado, 15 segundos a 70°C y por último unas condiciones más suaves en todos los sentidos, con 10 segundos a 65°C.

Tabla 58. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 70°C durante 15 segundos

	Superficie	S	C	EC	EO
Canal 1	Exterior antes	+	2500	690	OK
	Exterior después	-	890	180	OK
	Interior antes	+	4600	4400	OK
	Interior después	+	1500	1500	OK
Canal 2	Exterior antes	+	1400	1800	OK
	Exterior después	-	660	430	OK
	Interior antes	+	11600	6500	OK
	Interior después	-	2300	320	OK
Canal 3	Exterior antes	+	2500	960	OK
	Exterior después	-	690	480	OK
	Interior antes	+	8300	6300	OK
	Interior después	-	3600	680	OK
Canal 4	Exterior antes	-	1800	2800	OK
	Exterior después	-	780	1060	OK
	Interior antes	+	8600	10500	OK
	Interior después	-	3400	2300	OK
Canal 5	Exterior antes	+	1300	710	OK
	Exterior después	-	550	220	OK
	Interior antes	+	13600	2300	OK
	Interior después	+	4500	430	OK

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli* EO: Estado organoléptico
 - ausencia + presencia
 OK: Estado correcto

El tratamiento a 70°C durante 15 segundos muestra unos resultados óptimos desde el punto de vista organoléptico, donde no se presentan defectos. Sin embargo, desde el punto de vista microbiológico, comenzamos a encontrar las primeras muestras tratadas donde no se elimina completamente *Salmonella*. La reducción de este microorganismo es del 80%. Por su lado, en relación a los límites fijados

como objetivo, la reducción de muestras no aceptables para *Campylobacter* es del 50%. En relación con *E. coli*, la reducción de las muestras no aptas es del 70%. Aunque son reducciones relevantes, los objetivos empresariales considerarían estos resultados como mejorables. Los datos absolutos de reducción porcentual de los recuentos de *Campylobacter* y *E. coli* muestran cifras muy comparables a las obtenidas para el anterior tratamiento a 80°C. En este tratamiento, la reducción media para *Campylobacter* y *E. coli* es del 69'51% (63'59% para *Campylobacter* y 74'11% para *E. coli*) (Tabla 59). Esto supone un 0'66% de media inferior al anterior tratamiento, con leves descensos en la eficacia media frente a cada microorganismo.

Tabla 59. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 70°C durante 15 segundos

	S	C	EC
Exterior canal 1	100	64'4	74'0
Exterior canal 2	100	52'9	76'2
Exterior canal 3	100	72'4	50'0
Exterior canal 4	ND	56'7	62'2
Exterior canal 5	100	57'7	69'1
Media exterior	100	60'82	66'3
Interior canal 1	0	67'4	65'9
Interior canal 2	100	80'2	95'1
Interior canal 3	100	56'7	89'2
Interior canal 4	100	60'5	78'1
Interior canal 5	0	67'0	81'3
Medina interior	60	66'36	81'92
Media general	80	63'59	74'11
Total	80	68'85	

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli*

Tabla 60. Resultados (ufc/g o cm²) antes y después de la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 65°C durante 10 segundos

	Superficie	S	C	EC	EO
Canal 1	Exterior antes	+	2200	780	OK
	Exterior después	+	1100	650	OK
	Interior antes	+	9500	3400	OK
	Interior después	-	2600	1500	OK
Canal 2	Exterior antes	+	1100	7800	OK
	Exterior después	-	890	1300	OK
	Interior antes	+	8600	6500	OK
	Interior después	+	1200	950	OK
Canal 3	Exterior antes	+	980	1700	OK
	Exterior después	-	460	860	OK
	Interior antes	+	11300	4300	OK
	Interior después	+	2400	1100	OK
Canal 4	Exterior antes	-	1500	750	OK
	Exterior después	-	670	860	OK
	Interior antes	+	1200	7900	OK
	Interior después	+	750	2500	OK
Canal 5	Exterior antes	+	1200	770	OK
	Exterior después	+	890	460	OK
	Interior antes	+	7500	850	OK
	Interior después	+	2300	2200	OK

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli* EO: Estado organoléptico
 - ausencia + presencia
 OK: Estado correcto

El tratamiento a 65°C durante 10 segundos es el más suave de los ensayados, y permite unos óptimos resultados organolépticos, sin señales de deterioro en las canales evaluadas. Por otro lado, y desde el punto de vista microbiológico, los resultados, como cabría esperar, son los de menor eficacia de todos los ensayados. La reducción de *Salmonella* se sitúa en un 37'5%, la de las muestras no aptas de *Campylobacter* se

reduce en un 55'6% y sólo un 10% de *E. coli*. Los datos absolutos de reducción porcentual de los recuentos de *Campylobacter* y *E. coli* muestran cifras que, aunque con distribución irregular en algunos casos, resultan claramente inferiores (un 12'63% menos de media) al resto de tratamientos. En este tratamiento, la reducción media para *Campylobacter* y *E. coli* es del 56'22% (54'8% para *Campylobacter* y 57'64% para *E. coli*) (Tabla 61). Estos resultados son insuficientes para el cumplimiento de los objetivos empresariales.

Tabla 61. Porcentajes (%) de reducción de la contaminación tras la descontaminación de canales de pavo por aplicación de vapor a 65°C durante 10 segundos

	S	C	EC
Exterior canal 1	0	50	16'7
Exterior canal 2	100	19'1	83'4
Exterior canal 3	100	53'1	49'5
Exterior canal 4	ND	55'4	0
Exterior canal 5	0	25'9	68'4
Media exterior	50	40'7	43'6
Interior canal 1	100	72'7	55'9
Interior canal 2	0	86'1	85'4
Interior canal 3	0	78'8	74'5
Interior canal 4	0	37'5	68'4
Interior canal 5	0	69'4	74'2
Medina interior	25	68'9	71'68
Media general	37'5	54'8	57'64
Total	37'5	56'22	

S: *Salmonella* C: *Campylobacter* EC: *E. coli*

En general, en todos los tratamientos ensayados, se observa una población de partida de *Campylobacter* y *E. coli* superior en la parte interior de la canal que en la exterior, lo cual es coherente con la mayor probabilidad de contaminación fecal. Aunque existen lavados interiores previos, no suelen resultar tan efectivos como los tratamientos de lavado por arrastre exteriores.

Se puede apreciar que, de las condiciones ensayadas, la aplicación de 20 segundos a 80°C obtiene en su conjunto los mejores resultados para este tipo de cabina y en función del objetivo perseguido. Es evidente que siempre deberemos considerar, tanto en rangos de temperatura como de tiempo de aplicación, la adaptación a las condiciones reales por las diferentes velocidades de procesos antes mencionadas, así como por otros factores diversos y externos que afectan el día a día de una cadena de producción. Sobre la base de nuestros datos, se debería profundizar en el afinado de unas condiciones cercanas a las seleccionadas. Quizá el ensayo de 70°C aplicado 20 segundos podría ser una opción a estudiar en detalle, ya que 15 segundos ha dado resultados muy satisfactorios organolépticamente hablando, pero algo inferiores desde el punto de vista microbiológico.

Por otro lado, resulta indicado reseñar que esta medida nace del tratamiento de las patas, ya que en la mayoría de los casos tiene que realizarse en la fase final del proceso de matadero (evisceración), lo que genera contaminación secundaria y cruzada, ya que es donde se encuentra la mayoría de la materia orgánica fecal procedente de las camas de granja donde el animal ha estado en las etapas de cría y cebo.

Por ello, y en este sentido, se apreció que el tratamiento resultaba más efectivo tratando la canal completa en la etapa final de evisceración. No obstante, cabría esperar que la acción combinada de un tratamiento de eliminación de materia orgánica en patas y un tratamiento térmico con efecto bactericida en esa zona antes de entrar en la cadena de evisceración, mejorara notablemente los resultados.

Por otro lado, este tratamiento de descontaminación por vapor se ha visto mucho más efectivo que otros tratamientos emergentes en la industria alimentaria de descontaminación de canales, como pueden ser la descontaminación por ultrasonidos en solitario, o enfriamientos con nitrógeno. Pero se ha visto que, desde el punto de vista experimental, atendiendo a la gran cantidad de materia orgánica que presenta tanto la superficie exterior como interior de las canales, en el primer caso el tratamiento por ultrasonidos tendría dificultad para penetrar y por lo tanto realizar el tratamiento bacteriostático y bactericida. Por su parte, el enfriamiento por nitrógeno no deja de ser un método de criogenización superficial con poca penetrabilidad que, además de resultar muy costoso, tendría una función más bacteriostática que bactericida.

En general, Buncic y Sofos (2012) consideraron que los tratamientos de descontaminación obtienen un promedio del orden de 0'6-2'8 log de reducción de la contaminación microbiana. Los resultados mejoran con la combinación de los tratamientos disponibles. Si pormenorizamos experiencias relacionadas, Avens y col. (2002), consiguieron resultados finales inferiores a 10 ufc/cm² con la aplicación de vapor fluente a 96-98°C durante 3 minutos, pero estas condiciones nos dificultarían

garantizar las condiciones organolépticas, así como la adaptación al ritmo de la cadena de producción. Whyte y col. (2003) obtuvieron reducciones significativas en los recuentos de bacterias viables totales, enterobacteriáceas y campilobacterias termofílicas en canales de broilers expuestas a vapor atmosférico a 90°C durante 12 segundos, en relación con las no tratadas. Si el tiempo de exposición se incrementaba a 24 segundos, las reducciones eran de 0'75, 0'69 y 1'3 log respectivamente para los parámetros mencionados. En ambas situaciones se observaron daños evidentes en el tejido de la epidermis.

James y col. (2007) usaron una cabina a escala piloto para evaluar la descontaminación de canales de pollo usando vapor o agua caliente en combinación con un enfriamiento rápido de la superficie de dichas canales. Los parámetros microbiológicos controlados fueron *Campylobacter jejuni* y *E. coli*. Los tratamientos con vapor redujeron el número de *C. jejuni* en aproximadamente 1'8, 2'6 y 3'3 log ufc/cm² en 10, 12 y 20 segundos, respectivamente. Las reducciones del número de *E. coli* K12 fueron de 1'7, 2'3 y 2'8 log ufc/cm². Sin embargo, estos tratamientos hicieron que la piel se encogiera y cambiara de color. Se llegó a la conclusión de que el tratamiento óptimo para obtener la máxima reducción de *C. jejuni* y *E. coli*, con el menor encogimiento de la piel y el menor cambio de color era reducir la exposición a menos de 12 segundos, una conclusión compatible con la de nuestro trabajo. Si se combinaba el tratamiento con el enfriamiento posterior, la combinación óptima fue el tratamiento con agua a 80°C durante 20 segundos, seguido de la congelación de la corteza, que redujo el número de *C. jejuni* y de *E. coli*

en aproximadamente 2'9 y 3'2 log ufc/cm², respectivamente, sin degradación extensa de la canal.

Lecompte y col. (2008) ensayaron la efectividad del vapor sobre la piel de pollos, pero combinado con ácido láctico. Las condiciones mejores desde el punto de vista microbiológico resultaron ser 98°C con un 10% de ácido láctico, aunque atribuían más efecto al calor. La sinergia más genuina tras un almacenamiento de 7 días se comprobó con la aplicación de vapor a 70°C y un 5% de ácido láctico, sin afectar la apariencia de la carne. Chaine y col. (2013) demostraron la eficacia inmediata de los tratamientos con vapor y combinados, con reducciones de aproximadamente 6 y 5 log ufc/cm² para *S. Enteritidis* y *C. jejuni*, respectivamente, las más altas de las presentadas en esta discusión. También mostraron reducciones significativas (iguales o superiores a 3'2 log ufc/cm²) en el recuento total de microorganismos mesófilos aerobios. El ácido láctico tuvo un efecto persistente sobre el crecimiento de patógenos durante el almacenamiento, que fue significativamente mayor cuando la piel no se enjuagó, alcanzando reducciones de 3'8 log ufc/cm² tanto para *S. Enteritidis* como para *C. jejuni*. Sólo los tratamientos combinados redujeron significativamente la recuperación del total de bacterias mesófilas aerobias durante el almacenamiento posterior. También en el sentido de la descontaminación combinada por ambos métodos, Cil y col. (2019), estiman que la descontaminación con ácido láctico y la aplicación de vapor caliente tenían un efecto de reducción significativo sobre *C. jejuni* en muestras de piel de pollo y el efecto del ácido láctico aumentaba en función de la concentración.

Respecto a estudios que incluyan la acción del vapor sin combinar sobre *Salmonella*, Kure y col. (2020), con un tratamiento realizado en cámara piloto (Deconizer), redujo sustancialmente las bacterias aerobias, *Salmonella* y *Campylobacter* en las canales de pollo en pocos segundos. La reducción fue de 1'22-3'33 log para las bacterias aerobias, de 1'36-3'05 log para *Salmonella* Enteritidis y de 0'84-4'32 log para *Campylobacter jejuni*. Las reducciones de bacterias variaron mucho con el lugar de muestreo y el tiempo de tratamiento. Los tratamientos térmicos durante 5 segundos dieron reducciones sistemáticamente mayores que los de 3 segundos tanto a 95°C como a 120°C, tanto en muestras tomadas de la pechuga como de las patas y las alas. La reducción en la pechuga fue mayor que en las patas y las alas. El método resultaba compatible con la velocidad de procesamiento de las aves y sólo produjo cambios sensoriales marginales en el aspecto de las canales.

Musavian y col. (2014) investigaron una combinación de vapor con ultrasonidos (sistema *SonoSteam*, precisamente el mismo en que se basa nuestro estudio) en pollos de engorde contaminados de forma natural que se procesaron a velocidades de sacrificio convencionales de 8.500 aves por hora en una planta danesa de pollos de engorde. El equipo a escala industrial se instaló en la sala de evisceración, antes de la lavadora de canales interior/externo, y se evaluó en dos ensayos distintos realizados en dos fechas diferentes. En ambos ensayos, los recuentos de *Campylobacter* se redujeron de manera significativa desde 2'35 y 2'23 log a 1'40 y 1'36 log ufc tras el tratamiento (aproximadamente 1 log en ambos casos). También se observó una reducción significativa con las muestras analizadas antes del tratamiento *SonoSteam* (2'64 y 2'02) log y

después del enfriamiento por aire (1'44 y 1'37 log ufc). Todas las reducciones fueron superiores a las obtenidas por efecto del enfriamiento por aire sin tratamiento *SonoSteam*. Un panel sensorial autorizado de la Administración Danesa de Veterinaria y Alimentación concluyó que las canales de pollos de engorde tratadas con *SonoSteam* eran aceptables para su compra. Estas conclusiones se basaron en las diferencias organolépticas (olor, consistencia de la piel/carne, textura y color) de las canales tratadas frente a las no tratadas (Musavian y col., 2014).

Recientemente, Musavian y col. (2022) evaluaron canales contaminadas de manera natural usando cabinas con la tecnología de nuestro trabajo. Los parámetros microbiológicos determinados fueron *Campylobacter* (648 muestras), enterobacteriáceas y viables totales (216 muestras). Los resultados pueden considerarse comparables a los obtenidos en nuestro caso, con reducciones de *Campylobacter* del orden de 0'8, 1'1 y 0'7 log para muestras de piel de espalda, pechuga y cuello, respectivamente. Las reducciones de los otros indicadores fueron algo superiores: 1'6, 1'9 y 1,1 log para enterobacteriáceas, y de 2'0, 2'4 y 1'3 log para viables totales. La temperatura empleada fue de 80°C durante 1'5 segundos, con una velocidad de la cadena de 10.500 aves por hora.

En nuestro caso la aplicación sobre la cavidad interna de la canal se hace especialmente interesante y efectiva, sin tener referencias conocidas en la bibliografía para contrastar estos resultados.

Por todo lo comentado, y como conclusión de esta medida, entendemos que el tratamiento con vapor higiénico sin acción directa, creando una “atmosfera higienizante”, donde la acción de la temperatura se combina con el tiempo de contacto adecuado, puede ofrecer una solución muy efectiva sobre indicadores de calidad que influyen en la conservación final de la carne, y especialmente por su efecto bactericida sobre patógenos de interés en la industria avícola, como los estudiados en nuestro caso.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

PRIMERA

En relación con el lavado de jaulas, el efecto sinérgico del aumento de concentración del detergente alcalino sódico con la temperatura se muestra más eficaz que el de subir cada parámetro por separado, pero siempre respetando los límites establecidos tanto por las indicaciones del fabricante (en el caso de la conductividad del fabricante) como por la temperatura marcada por el mismo material del que están fabricados los carros. No se estima necesario usar la máxima concentración de detergente alcalino, ya que la acción combinada de 2mS y de 60°C es suficiente para conseguir no superar los límites para los indicadores microbiológicos establecidos, protegiendo los carros y ahorrando en costes en relación con un tratamiento más severo.

SEGUNDA

El calentamiento y la acidificación del agua de escaldado han mostrado su eficacia en la reducción de la aparición de *Salmonella* en la etapa de escaldado. Para evitar las desventajas asociadas a las medidas más duras en cada caso, se propone el calentamiento del agua de escaldado a 70°C, que puede repetirse si las desventajas en costes y recursos expuestos del proceso fueran aceptables. Esta medida podría combinarse con un pH del agua del tanque de escaldado siempre inferior a 4'5, utilizando un ácido que no afecte a la calidad final de los productos y/o a los elementos implicados. Adicionalmente, sería aconsejable realizar más estudios para combinar estas medidas con un sistema de eliminación continua de la materia orgánica.

TERCERA

La continua alusión en los debates e informes diversos sobre el uso de dióxido de cloro como descontaminante en canales de aves a la insuficiencia de datos que puedan ofrecer garantías de seguridad de su uso, o de poder descartar sus potenciales efectos perniciosos, así como la explícita consideración de la Decisión del Consejo de 18 de diciembre de 2008 acerca necesidad de más investigación a estos efectos, justifica el estudio de medidas que lo incluyan a bajas concentraciones de cara a su potencial y futura reconsideración por parte del Consejo. Esto se refuerza por el uso del dióxido de cloro en países de importante relación comercial con Europa, y por la carencia de pruebas en condiciones asimiladas a las comerciales (escala piloto).

CUARTA

En las condiciones estudiadas, la actividad desinfectante del ClO_2 sería eficaz como coadyuvante del agua, siempre generándolo in situ, y en una concentración de 0'5 ppm en dicho punto. Para potenciar ese efecto, y en función de las posibilidades de la línea y del matadero, podría ser conveniente incluir más puntos de lavado y arrastre en puntos críticos como, por ejemplo, tras la evisceración, y en etapas finales donde ya no exista manipulación, o potenciar su efecto con medidas que aumenten la temperatura del agua.

QUINTA

El tratamiento con vapor higiénico sin acción directa, creando una “atmosfera higienizante”, donde la acción de la temperatura se combina con el tiempo de contacto adecuado, puede ofrecer una solución muy efectiva para la descontaminación de canales en etapas previas al oreo de la canal.

SEXTA

De las condiciones ensayadas para el tratamiento con vapor de manera no directa, la aplicación de 20 segundos a 80°C obtiene en su conjunto los mejores resultados con el tipo de cabina empleado, y en función de los objetivos perseguidos. Sobre la base de nuestros datos, se debería profundizar en el afinado de unas condiciones cercanas a las seleccionadas, en función de condiciones reales de velocidad de la cadena y otros factores específicos de cada productor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSA -Agència Catalana de Seguretat Alimentària-. 2020. *La problemática del perclorato y el clorato*. Acsa brief, Julio - Agosto 2020, 1-8.

AHMED T.A., SAEED S.A.M., HUSSIEN H.A. 2013. *Evaluation of poultry meat safety based on ISO 22000 as food safety management system*. Pakistan Journal of Nutrition, 12(2), 121-129.

ALLEN V.M., CORRY J.E.L., BURTON, C.H., WHYTE R.T. MEAD G.C. 2000. *Hygiene aspects of modern poultry chilling*. International Journal of Food Microbiology, 58(1-2), 39-48.

ALONSO-HERNANDO A., CAPITA R., ALONSO-CALLEJA C. 2012. *Behaviour of co-inoculated pathogenic and spoilage bacteria on poultry following several decontamination treatments*. International Journal of Food Microbiology, 159(2), 152-159. doi 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.011.

ALONSO-HERNANDO A., ALONSO-CALLEJA C., CAPITA R. 2013a. *Effectiveness of several chemical decontamination treatments against Gram-negative bacteria on poultry during storage under different simulated cold chain disruptions*. Food Control, 34(2), 574-580. doi 10.1016/j.foodcont.2013.05.020.

ALONSO-HERNANDO A., CAPITA R., ALONSO-CALLEJA C. 2013b. *Decontamination treatments for psychrotrophic microorganisms on chicken meat during storage at different temperatures*. Journal of Food Protection, 76(11), 1977-1980. Doi 10.4315/0362-028X.JFP-13-175.

ALONSO-HERNANDO A., GUEVARA-FRANCO J.A., ALONSO-CALLEJA C., CAPITA R. 2013c. *Effect of the temperature of the dipping solution on the antimicrobial effectiveness of various chemical decontaminants against pathogenic and spoilage bacteria on poultry*. Journal of Food Protection, 76(5), 833-842. doi 10.4315/0362-028X.JFP-12-396.

ÁLVAREZ GURREA J.C., SANZ CERVERA S., RODRÍGUEZ JEREZ J.J. 2017. *Evolución de la contaminación de superficies durante los procesos productivos en pymes del sector cárnico*. Industria Cárnica. <https://www.interempresas.net/Industria-Carnica/Articulos/167316->

Evolucion-contaminacion-superficies-durante-procesos-productivos-pymes-sector-carnico.html (último acceso 20 de febrero de 2023).

ANDREOLETTI O., BUDKA H., BUNCIC S., COLIN P., COLLINS J.D., DE KOEIJER A., GRIFFIN J., HAVELAAR A., HOPE J., KLEIN G., KRUSE H., MAGNINO S., MARTÍNEZ LÓPEZ A., McLAUHLIN J., NGUYEN-THE C., NOECKLER K., NOERRUNG B., PRIETO MARADONA M., ROBERTS T., VAGSHOLM I., VANOPDENBOSCH E. 2008. *Assessment of the possible effect of the four antimicrobial treatment substances on the emergence of antimicrobial resistance Scientific. Opinion of the Panel on Biological Hazards*. EFSA Journal, 6(4). doi 10.2903/j.efsa.2008.659.

ANÓNIMO. 1998. *Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano* (DO L 330 de 5.12.1998, p. 32).

ANÓNIMO. 2003a. *Directiva 2003/99/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de noviembre de 2003 sobre la vigilancia de las zoonosis y los agentes zoonóticos y por la que se modifica la Decisión 90/424/CEE del Consejo y se deroga la Directiva 92/117/CEE del Consejo*. Modificada por Directiva 2006/104/CE del Consejo de 20 de noviembre de 2006; por Reglamento (CE) 219/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de marzo de 2009; por Decisión 2009/470/CE del Consejo de 25 de mayo de 2009 y por Directiva 2013/20/UE del Consejo de 13 de mayo de 2013. Texto consolidado <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0099-20130701&from=EN>

ANÓNIMO. 2003b. *Reglamento (CE) 2160/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de noviembre de 2003 sobre el control de la Salmonela y otros agentes zoonóticos específicos transmitidos por los alimentos*.

ANÓNIMO. 2003c. *Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano*. Ministerio de la Presidencia. «BOE» núm. 45, de 21 de febrero de 2003. Referencia: BOE-A-2003-3596. España.

ANÓNIMO. 2004a. *Reglamento (CE) 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios*.

ANÓNIMO. 2004b. *Reglamento (CE) 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 por el que se establecen normas específicas de higiene de los productos de origen animal.*

ANÓNIMO. 2004c. *Reglamento (CE) 1/2005 del Consejo de 22 de diciembre de 2004 relativo a la protección de los animales durante el transporte y las operaciones conexas y por el que se modifican las Directivas 64/432/CEE y 93/119/CE y el Reglamento (CE) 1255/97.*

ANÓNIMO. 2005b. *Reglamento (CE) nº 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo.*

ANÓNIMO. 2005c. *Reglamento 2073/2005 de la Comisión de 15 de noviembre de 2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.*

ANÓNIMO. 2006a. *Reglamento (UE) Nº 1190/2012 de la Comisión de 12 de diciembre de 2012 relativo a un objetivo de la Unión para la reducción de Salmonella Enteritidis y Salmonella Typhimurium en las manadas de pavos, de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento (CE) n o 2160/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo.*

ANÓNIMO. 2006b. *Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the Commission related to Treatment of poultry carcasses with chlorine dioxide, acidified sodium chlorite, trisodium phosphate and peroxyacids.* EFSA Journal, 4(1). doi 10.2903/j.efsa.2006.297.

ANÓNIMO. 2008a. *Reglamento (CE) 584/2008 de la Comisión de 20 de junio de 2008 por el que se aplica el Reglamento (CE) 2160/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al objetivo comunitario de reducción de la prevalencia de la Salmonella Enteritidis y la Salmonella Typhimurium en los pavos.*

ANÓNIMO. 2008b. *Propuesta de Reglamento del Consejo por el que se aplica el Reglamento (CE) nº 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a la utilización de sustancias antimicrobianas para eliminar la contaminación de superficie de las canales de ave de corral.*

ANÓNIMO. 2008c. *Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006.*

ANÓNIMO. 2009. *Decisión del Consejo de 18 de diciembre de 2008 por la que se rechaza la propuesta anunciada por la Comisión de un Reglamento del Consejo que desarrolla el Reglamento (CE) no 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a la utilización de sustancias antimicrobianas para eliminar la contaminación microbiana de las canales de aves de corral.*

ANÓNIMO. 2012a. *Reglamento (UE) Nº 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de mayo de 2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.*

ANÓNIMO. 2012b. *Reglamento (UE) 1190/2012 de la Comisión de 12 de diciembre de 2012 relativo a un objetivo de la Unión para la reducción de Salmonella Enteritidis y Salmonella Typhimurium en las manadas de pavos, de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento (CE) 2160/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo.*

ANÓNIMO. 2013a. *Reglamento (UE) nº 101/2013 de la Comisión, de 4 de febrero de 2013, relativo a la utilización de ácido láctico para reducir la contaminación de superficie de las canales de bovinos.*

ANÓNIMO. 2013b. *Guía de buenas prácticas para el transporte de aves de corral.* Comisión Europea. Dirección General Salud y Seguridad Alimentaria.

ANÓNIMO. 2017. *Reglamento (UE) 2017/1495 de la Comisión de 23 de agosto de 2017, que modifica el Reglamento (CE) nº 2073/2005 por lo que se refiere a Campylobacter en canales de pollos de engorde.*

ANÓNIMO. 2018. *Real Decreto 902/2018, de 20 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, y las especificaciones de los métodos de análisis del Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial*

envasadas para consumo humano, y del Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano.

ANÓNIMO. 2019a. *Resolución legislativa del Parlamento Europeo, de 28 de marzo de 2019, sobre la propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (versión refundida) (COM -2017- 0753 – C8-0019/2018 – 2017/0332 -COD-).*

ANÓNIMO. 2019b. *Real Decreto 638/2019, de 8 de noviembre, por el que se establecen las condiciones básicas que deben cumplir los centros de limpieza y desinfección de los vehículos dedicados al transporte por carretera de animales vivos, productos para la alimentación de animales de producción y subproductos de origen animal no destinados al consumo humano, y se crea el Registro nacional de centros de limpieza y desinfección.*

ANÓNIMO. 2020. *Reglamento (UE) 2020/749 de la Comisión de 4 de junio de 2020 que modifica el anexo III del Reglamento (CE) n.o 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo por lo que respecta a los límites máximos de residuos de clorato en determinados productos.*

ATSDR -Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-. 2004. *Reseña Toxicológica del Dióxido de Cloro y Clorito*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.

AVENS J.S., ALBRIGHT S.N., MORTON A.S., PREWITT B.E., KENDALL P.A., SOFOS J.N. 2002. *Destruction of microorganisms on chicken carcasses by steam and boiling water immersion*. Food Control, 13(6-7), 445-450.

BANADA P.P., BHUNIA A.K. 2008. *Antibodies and immunoassays for detection of bacterial pathogens*. En ZOUROB M., ELWARY S., TURNER A. (Eds.) *Principles of bacterial detection: Biosensor, Recognition Receptors and Microsystems*.

BARBUT S. 2015. *Poultry: Processing*. En: Encyclopedia of Food and Health. CABALLERO B., FINGLAS P.M., TOLDRÁ F. Eds.; Elsevier - Academic Press: Amsterdam, Netherland: 458-463.

BERRANG M.E., MEINERSMANN R.J., COX N.A., FEDORKA-CRAY P.J. 2011. *Application of chlorine dioxide to lessen bacterial contamination during broiler defeathering*. Journal of Applied Poultry Research, 20(1), 33-39. doi 10.3382/japr.2010-00178

BIRD P., FISHER K., BOYLE M., HUFFMAN T., JUENGER M., BENZINGER Jr. M.J., BEDINGHAUS P., FLANNERY J., CROWLEY E., AGIN J., GOINS D., JOHNSON R.L. 2013. *Evaluation of VIDAS UP Salmonella (SPT) assay for the detection of Salmonella in a variety of foods and environmental samples: Collaborative study*. Journal of AOAC International, 96(4), 808-821. doi: 10.5740/jaoacint.cs2013_01.

BOLTON D., MEREDITH H., WALSH D., McDOWELL D. 2014. *Poultry food safety control interventions in the domestic kitchen*. Journal of Food Safety, 34(1), 34-41.

BORGES K.A., MARTELO, E.B., DOS SANTOS L.A., FURIAN T.Q., CISCO I.C., MANTO L., DOS SANTOS L.R. 2019. *Detection and quantification of Salmonella spp. in poultry slaughterhouses of southern Brazil*. Journal of Infection in Developing Countries, 13(5), 455-460.

BORGES K.A., CISCO I.C., FURIAN T.Q., TEDESCO D.C., RODRIGUES L.B., DO NASCIMENTO V.P., DOS SANTOS L.R. 2020. *Detection and quantification of Campylobacter spp. in Brazilian poultry processing plants*. Journal of Infection in Developing Countries, 14(1), 109-113.

BRYAN F.L., AYRES J.C., KRAFT A.A. 1968. *Contributory sources of Salmonellae on turkey products*. American Journal of Epidemiology, 87(3), 578-591.

BUHR R.J., WALKER J.M., BOURASSA D.V., CAUDILL A.B., KIEPPER B.H., ZHUANG H. 2014. *Impact of broiler processing scalding and chilling profiles on carcass and breast meat yield*. Poultry Science, 93(6), 1534-1541.

BUNCIC S., SOFOS J. 2012. *Interventions to control Salmonella contamination during poultry, cattle and pig slaughter*. Food Research International, 45(2), 641-655.

BURTON D.T., FISHER D.J. 2001. *Acute quality water criteria for chlorite in freshwater ecosystems*. In: Chlorine dioxide: The estate of science, regulatory, environmental issues, and case histories. Proceedings of the

fourth international symposium. February, 15-16, 2001. Las Vegas, NV. AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

BYRD J.A., HARGIS B.M., CALDWELL D.J., BAILEY R.H., HERRON K.L., McREYNOLDS J.L., BREWER R.L., ANDERSON R.C., BISCHOFF K.M., CALLAWAY T.R., KUBENA L.F. 2001. *Effect of lactic acid administration in the drinking water during preslaughter feed withdrawal on Salmonella and Campylobacter contamination of broilers*. Poultry Science, 80, 278-283.

CANO C., MENESES Y., CHAVES B.D. 2021. *Application of peroxyacetic acid for decontamination of raw poultry products and comparison to other commonly used chemical antimicrobial interventions: A review*. Journal of Food Protection, 84(10), 1772-1783. doi 10.4315/JFP-21-107.

CANO N., ARISPÓN F., JORDANO R., MEDINA L.M. 2020. *Monitoring hygienic measures for decreasing Salmonella occurrence in Turkey Barns*. Archiv für Lebensmittelhygiene – Journal of Food Safety and Food Quality. 71, 75-80. doi 10.2376/0003-925X-71-75.

CANO VILCHES N. 2020. *Evaluación de la contaminación por Salmonella en pavos previa a su entrada en planta de sacrificio. Eficacia de las medidas implantadas para su reducción y control*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.

CAPDEVILA A., BERTRANA C. 2020. *Uso del dióxido de cloro para desinfección de aguas de consumo animal*. Proquimia, 26 noviembre 2020, <https://www.proquimia.com>

CARRAMIÑANA J.J., YANGÜELA J., BLANCO D., ROTA C., AGUSTÍN A.I., ARIÑO A., HERRERA A. 1997. *Salmonella* incidence and distribution of serotypes throughout processing in a Spanish poultry slaughterhouse. Journal of Food Protection 60(11), 1312-1317.

CASON J.A., HINTON A. 2006. *Coliforms, Escherichia coli, Campylobacter and Salmonella in a counterflow poultry scalding tank with a dip tank*. International Journal of Poultry Science, 5, 846–849.

CASON J.A., HINTON A., INGRAM K.D. 2000. *Coliform, Escherichia coli, and salmonellae concentrations in a multiple-tank, counter flow poultry scalding tank*. Journal of Food Protection, 63, 1184–1188.

CASON J.A., WHITTEMPRE A.D., SHACKELFORD A.D. 1999. *Aerobic bacteria and solids in a three-tank, two pass counterflow scalding*. Poultry Sci, 78, 144–147.

CENAN – Centro Nacional de Alimentación y Nutrición - 1982. *Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos y bebidas*. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, Ministerio de Sanidad y Majadahonda, Madrid.

CHAINED A., ARNAUD E., KONDOYAN A., COLLIGNAN A., SARTER S. 2013. *Effect of steam and lactic acid treatments on the survival of Salmonella Enteritidis and Campylobacter jejuni inoculated on chicken skin*. International Journal of Food Microbiology, 162(3), 276-282.

CHRISTEYNS. 2023. *Limpieza y desinfección en instalaciones avícolas*. <https://www.christeyns.com/es-es/limpieza-y-desinfeccion-en-instalaciones-avicolas/> (último acceso, 20 febrero 2023).

CIL G.I., OZDEMIR H., ONARAN B., CENGIZ G., SEN E. 2019. *Effect of lactic acid and steam treatments on Campylobacter jejuni on chicken skin*. Emirates Journal of Food and Agriculture, 31(2), 143-147.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION: CODEX COMMITTEE ON FOOD HYGIENE. 1993. *Guidelines for the application of Hazard Analysis Critical Control Point (APPCC) System*. Food and Agriculture Organization/World Health Organization.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. 2002. *Discussion paper on risk management strategies for Salmonella spp*. In Poultry. CX/FH 03/5-Add.1, November 2002, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Committee on Food Hygiene, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

COOKE F.J., THRELFALL E.J., WAIN J. 2007. *Current trends in the spread and occurrence of human salmonellosis: molecular typing and emerging antibiotic resistance*. En RHEN M., MASKEN D., MASTROENI P., THRELFALL J. (Eds.) *Salmonella: molecular biology and pathogenesis*.

CORRY J., JAMES S.J., PURNELL G., BARBEDO-PINTO C.S., CHOCHOIS Y., HOWELL M., JAMES C. 2007. *Surface pasteurisation of chicken carcasses using hot water*. Journal of Food Engineering, 79(3), 913-919. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.03.018.

COX J.M., PAVIC A. 2010. *Advances in enteropathogen control in poultry production*. Journal of Applied Microbiology, 108(3), 745-755. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04456.x.

COX J.M., PAVIC A. 2014. *Salmonella*. En: BATT C.A., TORTORELLO M.L. (Ed.) *Encyclopedia of Food Microbiology*, Vol. 3, 322-331. Academic Press- Elsevier, London, United Kingdom.

CROWLEY E., BIRD P., TORONTALI M., AGIN J., GOINS D., JOHNSON R. 2009. *TEMPO® EC for the Enumeration of aerobic mesophilic flora in Foods: Collaborative Study*. Journal of AOAC International, 92(1), 165-174.

CROWLEY E., BIRD P., TORONTALI M., GOETZ K., AGIN J., GOINS D., JOHNSON R. 2010. *TEMPO® EC for the Enumeration of Escherichia coli in Foods: Collaborative Study*. Journal of AOAC International, 93(2): 576-586.

CUTTER C.N., DORSA W.J. 1995. *Chlorine dioxide spray washes for reducing fecal contamination on beef*. Journal of Food Protection, 58(12), 1294-1296.

CYGNAROWICZPROVOST M., WHITING R.C., CRAIG J.C. 1994. *Steam Surface pasteurization of beef frankfurters*. Journal of Food Science, 59(1), 1-5.

DEDE N.A., GÜRAKAN G.C., BOZOGLU T.F. 2014. *Designing for hygienic operation*. En: BATT, C.A., TORTORELLO; M.L. (Ed.) *Encyclopedia of Food Microbiology*, Vol. 3, 166-170. Academic Press- Elsevier, London, United Kingdom.

DOLZ M.A. 2009. *La producción de pavos en España*. Selecciones avícolas, enero 2009, 59-62.

DUAN D.B., WANG H.H., XUE S.W., LI M., XU X.L. 2017. *Application of disinfectant sprays after chilling to reduce the initial microbial load and extend the shelf-life of chilled chicken carcasses*. Food Control, 75, 70-77. doi 10.1016/j.foodcont.2016.12.017.

DWIVEDI H.P., DEVULDER G., JENUJA V.K 2014. *Salmonella: Detection by immunoassays*. En BATT C.A., TORTORELLO M.L. (Eds.) *Encyclopedia of Food Microbiology*. 2nd Edition.

ECDC -European Centre for Disease Prevention and Control- and EFSA - European Food Safety Authority-. 2021. *Multi-country outbreak of Salmonella Enteritidis sequence type (ST)11 infections linked to poultry products in the EU/EEA and the United Kingdom*. Available online: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/salmonella-enteritidis-multi-country-poultry-joint-outbreak-risk-assessment#no-link>

EFSA -European Food Safety Authority-. 2005. *Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards on the evaluation of the efficacy of peroxyacids for use as an antimicrobial substance applied on poultry carcasses*. EFSA Journal, 306, 1–10.

EFSA -European Food Safety Authority-. 2006a. *Opinion from the Scientific Panel on Biological Hazards on the evaluation of the efficacy of L(+) Lactic acid for carcass decontamination*. EFSA Journal, 342, 1–6.

EFSA - European Food Safety Authority-. 2006b. *Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards on the request from the European Commission related to the evaluation of the efficacy of SAN-PEL for use as an antimicrobial substance applied on carcasses of chickens, turkeys, quails, pigs, beef, sheep, goats and game and in washing the shells of eggs*. EFSA Journal, 352, 1–6.

EFSA - European Food Safety Authority-. 2006c. *Joint AFC/BIOHAZ guidance document on the safety and the efficacy of substances for the removal of microbial surface contamination of foods of animal origin*. EFSA Journal, 388, 1–9.

EFSA - European Food Safety Authority. 2008. *Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards. Assessment of the possible effect of four antimicrobial treatment substances on the emergence of antimicrobial resistance*. EFSA Journal, 659, 1-26.

EFSA - European Food Safety Authority. 2010. *Revision of the joint AFC/BIOHAZ guidance document on the submission of data for the evaluation of the safety and efficacy of substances for the removal of microbial surface contamination of foods of animal origin intended for human consumption*. EFSA Journal 8, 1544, 1-32.

EFSA - European Food Safety Authority. 2011a. *Opinion from the Scientific Panel on Biological Hazards on Campylobacter in broiler meat production:*

control options and performance objectives and/or targets at different stages of the food chain. EFSA Journal, 9, 2015, 1–141.

EFSA - European Food Safety Authority. 2011b. *Scientific Opinion from the Panel on Biological Hazards on the evaluation of the safety and efficacy of Lactic acid for the removal of microbial surface contamination of beef carcasses, cuts and trimmings.* EFSA Journal, 9, 2317, 1–35.

EFSA - European Food Safety Authority. 2023. *FBO_dashboard_2016-2021.* En: <https://www.efsa.europa.eu/en/microstrategy/FBO-dashboard> (último acceso, 3 de febrero de 2023).

EFSA -European Food Safety Authority- BIOHAZ Panel (EFSA Panel on Biological Hazards) – Koutsoumanis K., Allende A., Álvarez-Ordóñez A., Bolton D., Bover-Cid S., Chemaly M., De Cesare A., Herman L., Hilbert F., Lindqvist R., Nauta M., Peixe L., Ru G., Simmons M., Skandamis P., Suffredini E., Dewulf J., Hald T., Michel V., Niskanen T., Ricci A., Snary E., Boelaert F., Messens W., Davies R.-. 2019. *Salmonella control in poultry flocks and its public health impact.* EFSA Journal 2019, 17(2), 5596, 155 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5596>

EFSA / ECDC - European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control. 2021. *Scientific report. The European Union One Health 2020 Zoonoses Report.* EFSA Journal 2021, 19(12):6971. doi: 10.2903/j.efsa.2021.6971.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. 2009a. *Microbiological Risk Assessment, Series 19. Salmonella and Campylobacter in chicken meat.* Meeting Report. 2009.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization / World Health Organization. 2009b. *Proposed draft guidelines for control of Campylobacter and Salmonella spp. in chicken meat (N08-2007).* Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Committee on Food Hygiene. Forty - first Session. Coronado, United States of America, 16–20 November.

FOSTER J.W., HALL H.K. 1990. *Adaptive Acidification Tolerance Response of Salmonella Typhimurium.* Journal of Bacteriology, 172, 771–778.

FSIS -FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE-. 2011. *Directive 7120.1/2011. Safe and suitable ingredients used in the production of*

meat, poultry and eggs products: revisión 6, date don April 05 2011. Disponible en <http://fsis.usda.gov> (acceso 15 de abril de 2011). Citado por Zweifel y Stephan (2012).

GILL C.O., MOZA L.F., BADONI M., BARBUT S. 2006. *The effects on the microbiological condition of product of carcass dressing, cooling, and portioning processes at a poultry packing plant.* International Journal of Food Microbiology 110(2), 187-193.

GOKMEN M., TAVSANLI H., ONEN A. 2021. *Efficacy of slightly acidic electrolysed water, chlorine dioxide, calcium oxide, and nisin against Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes on chicken meats.* International Food Research Journal, 28(2), 269-275.

GOMOLKA-PAWLICKA M., PASTUSZCZAK-FRAK M., URADZINSKI J., MIGOWSKA-CALIK A., WYSOK B., LACHOWICZ T. 2014. *Incidence of Campylobacter spp. in transport cages during the transport of broilers to the slaughterhouse.* Medycyna Weterynaryjna - Veterinary Medicine - Science and Practice, 70(2), 107-111.

GONZÁLEZ T., ROJAS R.A. 2005. *Enfermedades transmitidas por alimentos y PCR: prevención y diagnóstico.* Salud Pública México, 47(5).

GONZÁLEZ-FANDOS E., GUADALUPE Z., JIMÉNEZ S., PÉREZ A. 2009. *Effect of processing and storage on the microbiological quality of poultry.* In *Microbiological and chemical contamination and alterations of different products.* Research Signpost, Kerala, India, 47-64.

GONZÁLEZ-FANDOS E. (2014). *Descontaminación microbiana de canales.* <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/130026-Descontaminacion-microbiana-de-canales.html>

GONZÁLEZ FANDOS E., GUADALUPE Z., JIMÉNEZ S., PÉREZ A. 2009. *Effect of processing and storage on the microbiological quality of poultry.* In *Microbiological and chemical contamination and alterations of different products.* Research Signpost, Kerala, India: 47-64.

GONZÁLEZ-MIRET M.L., ESCUDERO-GILETE M.L., HEREDIA F.J. 2006. *The establishment of critical control points at the washing and air chilling stages in poultry meat production using multivariate statistics.* Food Control, 17(12), 935–941. <https://10.1016/j.foodcont.2005.06.012>

GREY T.C., MEAD G.C. 1986. *The effects of air and water chilling on the quality of poultry carcasses*, in "Meat Chilling", 1986, International Institute of Refrigeration, Paris, 95–99.

GUASTALLI B.H.L., BATISTA D.F.A., SOUZA A.I.S., GUASTALLI E.A.L., LOPES P.D., ALMEIDA A.M., PRETTE N., BARBOSA F.O., STIPP D.T., FREITAS NETO O.C. 2016. *Evaluation of disinfectants used in pre-chilling water tanks of poultry processing plants*. Brazilian Journal of Poultry Science, 18(2), 217-223. doi 10.1590/1806-9061-2015-0110.

GUILLIER L., THÉBAULT A., FRAVALO P., MUGHINI-GRAS L., JOURDAN-DA SILVA N., DAVID J., KOOH P., CADAVEZ V., GONZALES-BARRON U. 2021. *Risk factors for sporadic salmonellosis: a systematic review and meta-analysis*. Microbial Risk Analysis, 17. 100138. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2020.100138>.

HECER C., GULDAS M. 2011. *Effects of lactic acid, fumaric acid and chlorine dioxide on shelf-life of broiler wings during storage*. African Journal of Microbiology Research, 5(23), 3880-3883.

HUGAS M., TSIGARIDAS E. 2008. *Pros and cons of carcass decontamination: the role of the European Food Safety Authority*. Meat Science, 78, 43-52.

HUMPHREY T.J., LANNING D.G., LEEPER D. 1984. *The influence of scald water pH on the death rates of Salmonella typhimurium and other bacteria attached to chicken skin*. Journal of Applied Bacteriology, 57(2), 355-359. doi: 10.1111/j.1365-2672.1984.tb01401.x.

ICMSF -International Commission on Microbiological Specifications for Foods-. 1998. *Microorganisms in foods. Vol 6. Microbial specifications of food commodities*. Blackie Academic and Professional, London.

INCILI G.K., ÇALICIOĞLU M. 2018. *Change in scalding fluids by time in poultry slaughterhouse and its effect on microbiological quality of carcasses*. Journal of Food Safety, 38, e12485.

IRSHAD T.S., ARUN A. 2013. *Scalding and its significance in livestock slaughter and wholesome meat production*. International Journal of Livestock Research, 3(2), 45-53.

IRTA - Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. 2019. Sistema de integració de mesures per al protocol de valoració del benestar animal del pavó de engorde en matadero.

IRTA - Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. 2020. *Reglamento General de la Certificación en Bienestar Animal WELFAIR™*.

JAMES C., JAMES S.J., HANNAY N., PURNELL G., BARBEDO-PINTO C., YAMAN H., ARAUJO M., GONZÁLEZ M.L., CALVO J., HOWELL M., CORRY J.E.L. 2007. *Decontamination of poultry carcasses using steam or hot water in combination with rapid cooling, chilling or freezing of carcass surfaces*. International Journal of Food Microbiology, 114(2), 195-203.

JAMES C., VINCENT C., DE ANDRADE LIMA T.I., JAMES S.J. 2006. *The primary chilling of poultry carcasses - A review*. International Journal of Refrigeration, 29(6), 847-862.

JEFATURA DEL ESTADO. 2003. *Ley 8/2003, de 24 de abril, de Sanidad Animal*. España.

KANG I., LEE H.C., ADHIKARI B., HA S.D., KWON Y.M. 2022. *Effects of hot water spray and sub-zero saline chilling on bacterial decontamination of broiler carcasses*. Poultry Science, 101(3), 101688.

KEERTHIRATHNE T.P., ROSS K., FALLOWFIELD H., WHILEY H. 2019. *The combined effect of pH and temperature on the survival of Salmonella enterica Serovar Typhimurium and implications for the preparation of raw egg mayonnaise*. Pathogens, 8: 218. doi 10.3390/pathogens8040218.

KIJOWSKI J., POPIOL A., CEGIELSKA-RADZIEJEWSKA R., KACZMAREK A., BUDZYK J. 2013. *Effect of selected antibacterial compounds on microbial contamination of chicken carcasses*. Medycyna Weterynaryjna - Veterinary Medicine – Science and Practice, 69(6), 369- 373.

KIM J.M., DU W.X., OTWELL W.S., MARSHALL M.R., WEI C.I. 1998. *Nutrients in salmon and red grouper fillets as affected by chlorine dioxide (ClO₂) treatment*. Journal of Food Science, 63(4), 629-633.

KIM J.M., HUANG T.S., MARSHALL M.R., WEI C.I. 1999a. *Chlorine dioxide treatment of seafoods to reduce bacterial loads*. Journal of Food Science, 64(6), 1089-1093. doi 10.1111/j.1365-2621.1999.tb12288.x

KIM J.M., MARSHALL M.R., DU W.X., OTWELL W.S., WEI C.I. 1999b. *Determination of chlorate and chlorite and mutagenicity of seafood treated with aqueous chlorine dioxide*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(9), 3586-3591. doi 10.1021/jf981397h.

KIM J.W., SLAVIK M.F., PHARR M.D., RABEN D.P., LOBSINGER C.M., TSAI S. 1994. *Reduction of Salmonella on postchill chicken carcasses by trisodium phosphate (Na₃PO₄) Treatment*. Journal of Food Safety. 14(1): 9-17. doi 10.1111/j.1745-4565.1994.tb00580.x.

KLEIN G. 2010. *Control measures against Campylobacter in primary production and in poultry processing*. Archiv für Lebensmittelhygiene, 61(3), 108-111.

KOCHARUNCHITT C., MELLEFONT L., BOWMAN J.P., ROSS T. 2020. *Application of chlorine dioxide and peroxyacetic acid during spray chilling as a potential antimicrobial intervention for beef carcasses*. Food Microbiology, 87, 103355. doi 10.1016/j.fm.2019.103355.

KRULWICH T.A., SACHS G., PADAN E. 2011. *Molecular aspects of bacterial pH sensing and homeostasis*. Nature Review Microbiology, 9, 330–343.

KURE C.F., AXELSSON L., CARLEHOG M., MAGE I., JENSEN M.R., HOLCK A. 2020. *The effects of a pilot-scale steam decontamination system on the hygiene and sensory quality of chicken carcasses*. Food Control, 109, 106948.

LAHELLEC C., MEURIER C., CATSARAS M. 1973. *The psychrotrophic flora of poultry carcasses. II. development during evisceration. [La flore psychrotrofe des carcasses de volailles II. Evolution au cours de l'évisceração]*. Annales De Recherches Veterinaires, 4(4), 499-512.

LEATI M., ZACCHERINI A., RUOCCO L., D'AMATO S., BUSANI L., VILLA L., BARCO L., RICCI A., CIBIN V. 2021. *The challenging task to select Salmonella target serovars in poultry: the Italian point of view*. Epidemiology & Infection, 149, 1-9. <https://doi.org/10.1017/S0950268821001230>

LECOMPTE J.Y., KONDOYAN A., SARTER S., PORTANGUEN S., COLLIGNAN A. 2008. *Effects of steam and lactic acid treatments on inactivation of Listeria innocua surface-inoculated on chicken skins*. International Journal of Food Microbiology, 127(1-2), 155-161.

LILLARD H.S. 1980. *Effect on broiler carcasses and water of treating chiller water with chlorine or chlorine dioxide*. Poultry Science, 59(8), 1761-1766. doi 10.3382/ps.0591761.

LORETZ M., STEPHAN R., ZWEIFEL C. 2010. *Antimicrobial activity of decontamination treatments for poultry carcasses: A literature survey*. Food Control, 21(6), 791-804.

MA J.W., HUANG B.S., HSU C.W., PENG C.W., CHENG M.L., KAO J.Y., WAY T.D., YIN H.C., WANG S.S. 2017. *Efficacy and Safety Evaluation of a Chlorine Dioxide Solution*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(3), 329. doi:10.3390/ijerph14030329

MAGRAMA – MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. 2016. *Programa nacional para la vigilancia y control de determinados serotipos de Salmonella en pavos de reproducción y de engorde*. España.

MALORNY B., HAUSER E., DIECKMANN R. 2011. *New approaches in subspecies-level Salmonella classification*. En PORWOLIK S. (Ed.) *Salmonella: from genome to function*.

MAPA - MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2003. *Real Decreto 328/2003, de 14 de marzo, por el que se establece y regula el plan sanitario avícola*. España.

MAPA - MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2005. *Real Decreto 1084/2005, de 16 de septiembre, de ordenación de la avicultura de carne*. España.

MAPA – MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2023. *Salmonella*. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/sanidad-animal/enfermedades/salmonella/salmonella_general.aspx (último acceso, 30 de enero de 2023).

MEAD G.C. 2004. *Microbial hazards in production and processing*. In Poultry Meat. Processing and Quality. MEAD G.C. Ed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 232-257.

MORGAN A.I., GOLDBERG N., RADEWONUK E.R., SCULLEN O.J. 1996. *Surface pasteurization of raw poultry meat by steam*. Food Science and Technology – Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 29(5-6), 447-451.

MORRIS G.K., WELLS J.G. 1970. *Salmonella contamination in a poultry-processing plant*. Applied Microbiology, 19(5), 795-799.

MOSSEL D.A.A., MORENO B., STRUIJK C.B. 2006. *Microbiología de los Alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

MULDER R.W.A.W., DORRESTEIJN L.W.J. 1977. *Hygiene during the scalding process of broilers*. DLG-Mitteilungen, 57, 2220-2222.

MULDER R.W.A.W. 1985. *Decrease microbial contamination during poultry processing*. Poultry Misset March, 52.

MULDER R.W.A.W., DORRESTEIJN L.W.J., BOREK J.V. 1978. *Cross-contamination during the scalding and picking of broilers*. British Poultry Science, (9), 61–70.

MUSAVIAN H.S., BUTT T.M., ORMOND A., KEEBLE D., KREBS N.H. 2022. *Evaluation of Steam-Ultrasound Decontamination on Naturally Contaminated Broilers through the Analysis of Campylobacter, Total Viable Count, and Enterobacteriaceae*. Journal of Food Protection, 85(2), 196-202.

MUSAVIAN H.S., KREBS N.H., NONBOE U., CORRY J.E.L., PURNELL G. 2014. *Combined steam and ultrasound treatment of broilers at slaughter: A promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses*. International Journal of Food Microbiology, 176, 23-28.

NORTHCUTT J.K., SMITH D.P., COX N.A., INGRAM K.D., BUHR R.J., RICHARDSON L.J., CASON J.A., HINTON A. 2008. *Effects of chlorine or chlorine dioxide during immersion chilling on recovery of bacteria from broiler carcasses and chiller water*. Poultry Science, 87, 40-40.

NUNES F. 2011. *Scalding and plucking for optimum carcass quality and yield*. World Poultry, 5, 2011.

OKREND A.J., JOHNSTON R.W., MORAN A.B. 1986. *Effect of Acetic acid on the death rates at 52oC of Salmonella Newport, Salmonella Typhimurium*

and *Campylobacter jejuni* in poultry scald water. *Journal of Food Protection*, 49(7), 500-503.

PÉREZ ARNEDO I. 2016. *Calidad y seguridad microbiológica de la carne de pollo: con especial referencia a la incidencia de Salmonella, Campylobacter y Listeria monocytogenes en las distintas etapas de la producción y procesado*. Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.

PURNELL G., JAMES C., JAMES S.J., HOWELL M., CORRY J.E.L. 2014. *Comparison of acidified sodium chlorite, chlorine dioxide, peroxyacetic acid and tri-sodium phosphate spray washes for decontamination of chicken carcasses*. *Food and Bioprocess Technology*, 7(7), 2093-2101. doi 10.1007/s11947-013-1211-8

RAUGEL P.J. 2012. *Rapid food analysis and hygiene monitoring: Kits, Instruments and Systems*.

RICKE S.C., GAST R.K. 2014. *Salmonella Enteritidis*. En: BATT C.A., TORTORELLO, M.L. (Ed.) *Encyclopedia of Food Microbiology*, Vol. 3, 343-348. Academic Press- Elsevier, London, United Kingdom.

RIGBY C.E. et al. 1982. *The relationships of salmonellae from infected broiler flocks, transport crates or processing plants to contamination of eviscerated carcasses*. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 46, 272-278.

ROBINSON D., MEAD G.C., BARNES K.A. 1981. *Detection of chloroform in the tissues of freshly eviscerated poultry carcasses exposed to water containing added chlorine or chlorine dioxide*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 27(2), 145-150. doi 10.1007/BF01611000.

ROSSI A.P., KALSCHNE D.L., BYLER A.P.I., FLORES E.L.D., LEITE O.D., DOS SANTOS D., BARIN J.S., CANAN C. 2021. *Effect of ultrasound and chlorine dioxide on Salmonella Typhimurium and Escherichia coli inactivation in poultry chiller tank water*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 105815. doi 10.1016/j.ultsonch.2021.105815

RUSSELL S.M. 2007. *Processing tip. How can processors significantly improve processing yield and lower Salmonella without added expense?.* University of Georgia, Cooperative Extension Service, Athens, GA.;

<http://www.poultry.uga.edu/extension/tips/documents/protipjuly07.pdf>.

RUSSELL S.M. 2008. *The effect of an acidic, copper sulfate based commercial sanitizer on indicator, pathogenic and spoilage bacteria associated with broiler chicken carcasses when applied at various intervention points during poultry processing*. Poultry Science. 87: 1435–1440.

SAKHARE P.Z., SACHINDRA N.M., YASHODA K.P., NARASIMHA RAO D. 1999. *Efficacy of intermittent decontamination treatments during processing in reducing the microbial load on broiler chicken carcass*. Food Control, 10(3), 189-194.

SANOVO TECHNOLOGY GROUP. 2023. Desinfección avícola para procesadores de carne. En: <https://www.sanovopoultry.com/es/all-products/poultry-processing-disinfection-with-sonosteam-technology/>. Último acceso: 29 de marzo de 2023.

SCHILLING M.W., VIZZIER-THAXTON Y., ALVARADO C.Z. 2014. *Slaughter line operation*. Poultry. En: Encyclopedia of Meat Sciences. DIKEMAN, M., DEVINE, C. Eds. 2nd Edition: Elsevier – Academic Press, 303-308.

SIMONSEN B. 1975. *Microbiological aspects of poultry meat quality*. Quality Poultry Meat, Proc. Eur. Symp. Poultry Meat Quality., 2nd, Oosterbeek, Neth, 2, 1–10.

SLAVIK M.F., KIM J.W., WALKER J.T. 1995. *Reduction of Salmonella and Campylobacter on chicken carcasses by changing scalding temperature*. Journal of Food Protection, 58(6): 689-691. doi 10.4315/0362-028X-58.6.689.

SOCKETT P. 1993. *Social and economic aspects of food-borne disease*. Food Policy, 18(2), 110-119.

STIVARIUS M.R., POHLMAN F.W., McELYEA K.S., APPLE J.K. 2002. *Microbial, instrumental color and sensory color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide*. Meat Science, 60(3), 299–305.

STOPFORTH J.D., O’CONNOR R., LOPES M., KOTTAPALLI B., HILL W.E., SAMADPOUR M. 2007. *Validation of individual and multiple sequential*

interventions for reductions of microbial populations during processing of poultry carcasses and parts. Journal of Food Protection, 70, 1393-1401.

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PRODUCTOS GANADEROS, MAPA. 2019. *El sector de la avicultura de carne en cifras: Principales indicadores económicos 2018.* España.

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PRODUCCIONES GANADERAS Y CINEGÉTICAS, MAPA. 2021. *Caracterización del sector del pavo en España.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: <http://publicacionesoficiales.boe.es/> NIPO: 003210240

SUN T., LIU Y., QIN X., ASPRIDOU Z.; ZHENG J., WANG X., LI Z., DONG Q. 2021. *The prevalence and epidemiology of Salmonella in retail raw poultry meat in China: A systematic review and meta-analysis.* Foods. 2021, 10, 2757. doi 10.3390/foods10112757.

THIESSEN G.P., USBORNE W.R., ORR H.L. 1984. *The efficacy of chlorine dioxide in controlling Salmonella contamination and its effect on product quality of chicken broiler carcasses.* Poultry Science, 63(4), 647-653. doi 10.3382/ps.0630647.

THOMAS C.J., McMEEKIN T.A., McCALL D. 1987. *Soft scald-induced damage of chicken skin.* British Poultry Science 28, 659–662.

TSAI L.S., HIGBY R., SCHADE J. 1995. *Disinfection of poultry chiller water with Chlorine Dioxide - Consumption and by-product formation.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 43(10), 2768-2773. doi 10.1021/jf00058a041

TSAI L.S., WILSON R., RANDALL V. 1997. *Mutagenicity of poultry chiller water treated with either chlorine dioxide or chlorine.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45(6), 2267-2272.

URIBE C., SUÁREZ M.C. 2006. *Salmonelosis no tifoidea y su transmisión a través de alimentos de origen aviar.* Colombia Médica, 37(2).

VAN IMMERSEEL F., DE ZUTTER L., HOUF K., PASMANS F., HAESBROUCK F., DUCATELLE R. 2009. *Strategies to control Salmonella in the broiler production chain.* World's Poultry Science Journal, 65(3), 367-392.

VANDEKINDEREN I., DEVLIEGHIERE F., VAN CAMP J., KERKAERT B., CUCU T., RAGAERT P., DE BRUYNE J., DE MEULENAER B. 2009. *Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide*. International Journal of Food Microbiology, 131, 138-144.

VILLARREAL M.E., BAKER R.C., REGENSTEIN J.M. 1990. *The incidence of Salmonella on poultry carcasses following the use of slow release chlorine dioxide (Alcide)*. Journal of Food Protection, 53(6), 465. doi 10.4315/0362-028X-53.6.465.

VISVALINGAM J., HOLLEY R.A. 2018. *Evaluation of chlorine dioxide, acidified sodium chlorite and peroxyacetic acid for control of Escherichia coli O157:H7 in beef patties from treated beef trim*. Food Research International, 103, 295-300. doi 10.1016/j.foodres.2017.10.051

WHITE D., GURUNG S., ZHAO D., FARNELL Y., BYRD J., MCKENZIE S., STYLES D., FARNELL M. 2018a. *Evaluation of layer cage cleaning and disinfection regimens*. Journal of Applied Poultry Research, 27(2), 180-187.

WHITE D., GURUNG S., ZHAO D., TABLER T., McDANIEL C., STYLES D., MCKENZIE S., FARNELL Y., FARNELL M. 2018b. *Foam or spray application of agricultural chemicals to clean and disinfect layer cages*. Journal of Applied Poultry Research, 27(3), 416-423.

WHYTE P., MCGILL K., COLLINS J.D. 2003. *An assessment of steam pasteurization and hot water immersion treatments for the microbiological decontamination of broiler carcasses*. Food Microbiology, 20(1), 111-117

WORLD HEALTH ORGANIZATION -WHO/OMS-. 2023. *Zoonosis*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses> (último acceso, 30 enero 2023).

YANG H., LI Y.B., JOHNSON M.G. 2001. *Survival and death of Salmonella Typhimurium and Campylobacter jejuni in processing water and on chicken skin during poultry scalding and chilling*. Journal of Food Protection, 64(6), 770-776.

ZWEIFEL C., STEPHAN R. 2012. *Microbial decontamination of poultry carcasses*. In: Demirci A., Ngadi M.O. (Ed.) (2012) Microbial Decontamination in the Food Industry. Novel Methods and Applications.

Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition,
pp. 60-95.

ANEXO

Se recoge a continuación la publicación aportada como indicio de calidad de la Tesis.

Título: Monitoring hygienic measures for decreasing *Salmonella* occurrence in scalding tank water of a turkey slaughterhouse

Autores: Francisco Arispón, Nazaret Cano, Rafael Jordano, Luis M. Medina

Revista: Applied Sciences

doi: <https://doi.org/10.3390/app13148103>