La economía del control microbiológico en el procesado avícola

De los decepcionantes resultados en las canales a la ingeniería integrada de procesos, la eficiencia de recursos y las tecnologías emergentes aplicadas al agua

José M. López, BSc, MD, PhD, LLD (C)

INTABIOTECH Knowledge Center | Investigación y Economía Industrial | 11 de noviembre de 2026

Resumen

La industria de procesado avícola opera entre dos objetivos igualmente exigentes: reducir la contaminación microbiana y preservar la viabilidad económica de una producción de gran capacidad. La vigilancia europea reciente demuestra por qué ninguno de ellos puede considerarse resuelto. En 2024, el 24,3 % de las muestras obtenidas en los controles de las autoridades competentes superaron el umbral de higiene de proceso de Campylobacter de 1.000 UFC/g; el porcentaje correspondiente comunicado por los controles de los propios operadores fue del 16,4 %. Entretanto, la síntesis de investigaciones revela efectos inconsistentes del lavado, el enfriamiento y las intervenciones más recientes, con recontaminación durante el desplumado y la evisceración que contrarresta las reducciones anteriores. Este estudio desarrolla un marco de decisión que valora el desempeño microbiológico junto con el consumo de agua, la energía, el rendimiento de las canales, la capacidad de producción, las pérdidas de producto y la admisibilidad regulatoria. Un modelo transparente de planta hipotética muestra cómo intervenciones aparentemente atractivas pueden resultar económicamente inferiores al incorporar costes o pequeñas pérdidas de rendimiento. Finalmente, examina la transformación mineral reactiva del agua de proceso, incluida la plataforma KNAMAX™/AAI de INTABIOTECH, como oportunidad de integración susceptible de ensayo, y no como solución verificada de forma independiente. El objetivo industrial es producir con mayor seguridad y valor neto demostrable, no añadir otra afirmación de reducción microbiana obtenida únicamente en laboratorio.

Palabras clave: *procesado avícola; Campylobacter; Salmonella; higiene de proceso; evaluación técnico-económica; eficiencia hídrica; sistemas minerales reactivos; cumplimiento normativo.*

Categoría Knowledge Center: *Seguridad Alimentaria y Tecnologías de Procesado | Biotecnología y Economía Industrial*

Slug SEO sugerido: *economia-control-microbiano-procesado-avicola-2026*

Metadescripción: *Estudio del control microbiológico avícola desde la vigilancia europea, el agua, la energía, el rendimiento, el riesgo normativo y la economía de tecnologías emergentes aplicadas al agua de proceso.*

Etiquetas internas: *Procesado Avícola; Campylobacter; Microbiología Industrial; Agua de Proceso; Economía Técnico-Industrial; KNAMAX; Asuntos Regulatorios; Investigación Emergente.*

I. La evidencia incómoda: un problema costoso que no ha desaparecido

Un programa de seguridad alimentaria no debería declararse satisfactorio por el mero hecho de haber acumulado intervenciones. Las plantas avícolas modernas invierten en bioseguridad en granja, escaldado, evisceración automatizada, lavado, enfriamiento, higiene ambiental, saneamiento y análisis. Sin embargo, el informe de zoonosis One Health 2024 de la Unión Europea, publicado por EFSA y ECDC en 2025, registra un resultado que merece un examen industrial riguroso: de las 15.431 muestras oficiales de higiene de proceso para Campylobacter, el 24,3 % superó 1.000 UFC/g, frente al 16,0 % registrado en los datos oficiales de 2023. Entre las 67.042 muestras recogidas en los programas de vigilancia de los operadores alimentarios, el 16,4 % superó dicho umbral, frente al 15,8 % de 2023. En los once Estados miembros que comunicaron ambas series de muestreo, la diferencia fue del 26,0 % frente al 14,7 % [1]. Son resultados importantes incluso teniendo en cuenta las diferencias metodológicas. No constituyen una prueba de que todas las plantas de procesado estén fallando ni representan una tasa europea medida de establecimientos incumplidores. Demuestran que persisten cargas microbianas considerables y que el diseño del muestreo importa.

El mismo informe registró 168.396 casos humanos confirmados de campilobacteriosis en la UE durante 2024, con un incremento del 11,9 % en la tasa de notificación comunicada respecto a 2023. Las variaciones en la detección de casos, la cobertura de vigilancia, la exposición y la notificación sanitaria limitan cualquier atribución directa al procesado avícola. No obstante, esta carga convierte el rendimiento de los programas de control en una preocupación tanto de salud pública como comercial. Salmonella proporciona otra señal de alerta: solo catorce Estados miembros cumplieron todos sus objetivos de reducción de Salmonella en poblaciones avícolas en 2024, frente a diecinueve en 2022 [1]. Estos indicios justifican una investigación rigurosa, pero no la afirmación indiscriminada de que todos los tratamientos convencionales resultan ineficaces.

El umbral legal también tiene un significado preciso. El Reglamento (UE) 2017/1495 de la Comisión modificó el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 para establecer un criterio de higiene de proceso relativo a Campylobacter en canales refrigeradas de pollos de engorde. Desde el 1 de enero de 2025, el plan de muestreo es n = 50, c = 10, con un máximo de diez resultados individuales superiores a 1.000 UFC/g. Los resultados insatisfactorios requieren mejorar la higiene del sacrificio y revisar los controles del proceso, el origen de los animales y la bioseguridad de las explotaciones [2]. No se trata de un límite general de seguridad alimentaria de tolerancia cero; tampoco un único resultado superior a 1.000 UFC/g demuestra por sí mismo que se haya incumplido el criterio de proceso completo de 50 muestras. Esta distinción es esencial al calcular el coste de las decisiones sobre el destino de los productos y las consecuencias regulatorias.

Quizá el dato más revelador sea que la variabilidad dista mucho de ser pequeña. El informe EFSA/ECDC describe porcentajes de superación en las muestras oficiales que, según el Estado miembro, van desde valores casi nulos hasta proporciones muy elevadas, mientras que la vigilancia de los operadores suele ofrecer cifras inferiores. Las condiciones geográficas, el estado sanitario de las manadas, el muestreo oficial basado en el riesgo, la frecuencia de toma de muestras, las prácticas analíticas y la selección de establecimientos pueden influir en esas comparaciones. La diferencia entre los resultados oficiales y los de los operadores no puede presentarse legítimamente como prueba de ocultación deliberada. Es, en cambio, una razón para realizar evaluaciones independientes, estratificadas y enmascaradas de las intervenciones en condiciones reales de fabricación.

Para el director financiero, la implicación es incómoda: que durante este trimestre no se haya suspendido ninguna auditoría de cliente no demuestra una baja exposición a futuras interrupciones o pérdidas

comerciales. Para el director técnico también lo es: una reducción media modesta expresada en unidades logarítmicas y obtenida en laboratorio no garantiza que un proceso industrial con elevada variabilidad se haya desplazado lo suficiente por debajo de un umbral de actuación regulatoria. La unidad de evaluación útil es la distribución de resultados a lo largo del tiempo, entre manadas y entre líneas, no un único valor medio.

II. Por qué la línea de procesado devuelve repetidamente la contaminación que una intervención elimina

La ecología microbiana del sacrificio avícola explica por qué puntos de control aparentemente prometedores pueden ofrecer resultados inferiores a los esperados. Cada manada llega con una carga biológica variable. La espera, las jaulas de transporte y las plumas pueden contribuir a la transferencia ambiental antes de que el ave alcance las principales etapas del proceso. El escaldado puede reducir considerablemente los microorganismos, pero el equipo de desplumado puede redistribuir la contaminación. La evisceración puede transferir contenido intestinal, mientras que el contacto entre canales, el agua de proceso, los aerosoles, los transportadores y las superficies de contacto ofrecen vías adicionales. El enfriamiento reduce la temperatura y puede disminuir los recuentos, pero el efecto depende del método, la carga orgánica, el tiempo de permanencia y el control de la contaminación cruzada. Por tanto, una higienización aplicada en una etapa inadecuada puede reducir temporalmente los recuentos sin corregir el mecanismo dominante de transferencia posterior.

La Food Standards Agency (FSA) del Reino Unido publicó en 2026 una revisión general de revisiones sistemáticas de intervenciones contra Campylobacter en mataderos. La síntesis encontró reducciones relevantes durante el escaldado, pero incrementos de contaminación asociados al desplumado y efectos inconsistentes en la evisceración. También comunicó una heterogeneidad muy elevada entre numerosas estimaciones agrupadas, incluidas las intervenciones físicas. La inmersión en agua sola después del enfriamiento presentó una reducción agrupada aproximada de 0,42 log10 en los estudios considerados, pero con un I^2 del 96 %; esto demuestra variabilidad, no un coeficiente universal de rendimiento transferible. Otra síntesis de intervenciones físicas informó una reducción de aproximadamente 0,46 log10, con un I^2 del 99 %. En cambio, los ensayos de pulverización con agua ozonizada y plasma frío, bajo condiciones experimentales determinadas, produjeron cambios pequeños o estadísticamente poco concluyentes. Estos resultados no deberían utilizarse ni para descartar por completo una familia tecnológica ni para ocultarlos al presentar su potencial industrial [3].

Una revisión sistemática y meta-regresión independiente publicada en 2026, que reunió 71 estudios y 1.256 observaciones, aporta mayor contexto. Sus autores comunicaron reducciones medias aproximadas de 0,898 log10 después del escaldado, 0,523 log10 después del aclarado de canales con agua y 0,692 log10 tras la combinación de higienización y enfriamiento. Las intervenciones con ácidos orgánicos mostraron efectos medios mayores en los estudios evaluados, pero el diseño experimental, la modalidad de aplicación, la concentración, el producto y la matriz modificaron notablemente los resultados [4]. Estas estimaciones agrupadas no constituyen garantías de ingeniería. Son evidencia de que la elección de la etapa y la constancia del control de proceso importan al menos tanto como la selección nominal del agente.

Una reducción de una unidad logarítmica representa una disminución de diez veces en el recuento medido; no significa una reducción del 90 % en la probabilidad de incumplir un criterio de higiene de proceso, de causar enfermedad al consumidor o de sufrir un rechazo de producto. Estas probabilidades dependen de toda la distribución subyacente. Tampoco pueden sumarse sin más las reducciones logarítmicas de etapas diferentes como si fueran independientes. Una disminución conseguida antes del desplumado puede desaparecer tras una transferencia posterior. El cambio microbiano durante el

sacrificio puede no predecir el deterioro durante la distribución, porque los microorganismos y las condiciones de almacenamiento que gobiernan la vida útil sensorial no son los mismos que determinan el riesgo por Campylobacter. En general, Campylobacter no prolifera en condiciones normales de refrigeración, mientras que las poblaciones alterantes sí pueden crecer. Por tanto, toda afirmación relativa a una mayor vida útil necesita su propia evidencia longitudinal.

La debilidad de las comparaciones basadas en un solo punto se aprecia al diferenciar concentración y prevalencia. Una intervención puede reducir los recuentos elevados de Campylobacter sin modificar la proporción de muestras positivas, o disminuir la prevalencia con un cambio pequeño en la concentración media. Ambos resultados pueden ser útiles, pero el indicador comercial elegido debe corresponder al riesgo que se pretende gestionar. Una intervención optimizada para desplazar la distribución de canales por debajo de 1.000 UFC/g puede ser económicamente preferible a otra que consiga una mayor reducción logarítmica media, pero mantenga una cola superior problemática. Es un problema de gestión de distribuciones, no una competición por la cifra más alta comunicada en un artículo de laboratorio.

III. El coste real del control: agua, energía, rendimiento y capacidad

En un matadero, el control microbiológico consume recursos escasos o influye en ellos incluso cuando el coste químico directo es pequeño. El agua se compra, calienta o enfría, se bombea, se monitoriza y, finalmente, se vierte o trata. El calor aplicado a las canales puede mejorar un indicador microbiológico y, al mismo tiempo, provocar daños superficiales, pérdida de humedad o cambios en el aspecto de la piel. Una etapa de nebulización o inmersión puede modificar la retención de agua y el peso, mientras que una higienización más exigente puede aumentar el tiempo de cambio de operación. Por consiguiente, una aparente mejora microbiológica puede pagarse con kilos comercializables perdidos o con un cuello de botella imprevisto. A la inversa, controlar mejor la contaminación puede evitar reprocesados, lotes retenidos, reclasificaciones comerciales y pérdidas de vida útil. El departamento financiero debe poder observar ambos lados de la ecuación.

Las conclusiones sobre mejores técnicas disponibles (MTD/BAT) de la Comisión Europea de 2023 para mataderos proporcionan una referencia útil de consumo de recursos, aunque sus niveles de comportamiento asociados no deben confundirse con precios específicos de planta, mínimos universales de diseño o límites autorizados aplicables sin considerar las condiciones del permiso. Para mataderos de pollos, el intervalo de comportamiento ambiental asociado a las MTD en consumo específico neto de energía es de 170–490 kWh por tonelada de canales (también expresado como 0,25–0,90 kWh por animal); el intervalo asociado de vertido específico de aguas residuales es de 1,45–6,30 m^3 por tonelada de canales (o 0,002–0,013 m^3 por animal), con sujeción a las notas y condiciones de aplicación de la Decisión [5]. Estos valores resultan especialmente útiles para examinar una promesa de innovación: una intervención que ahorre el 2 % del agua de proceso, pero imponga una penalización elevada de refrigeración o calor, puede generar un valor neto insignificante.

La captación de agua, el vertido de aguas residuales y la reutilización son magnitudes diferentes. Reducir el vertido no implica automáticamente reducir la extracción de agua dulce. La reutilización puede requerir filtración, garantías microbiológicas, equipos, energía y autorizaciones diferenciadas. El agua que entra en contacto con alimentos debe cumplir los requisitos aplicables, y una propuesta para reciclarla o acondicionarla químicamente no puede evaluarse exclusivamente mediante la factura de suministros. Las pérdidas de producto también tienen múltiples causas: las mejoras en el control microbiano solo deben recibir un beneficio económico por las pérdidas causalmente afectadas por la intervención, no por toda la merma de inventario o todas las devoluciones minoristas.

Un modelo de inversión debe distinguir el margen de contribución del precio de venta. Si un control mejorado recupera un kilogramo adicional para la venta, el beneficio económico normalmente es la

contribución marginal o la pérdida evitada, no el precio minorista íntegro de ese kilogramo. Asimismo, una hora adicional de disponibilidad de la línea solo tiene gran valor cuando la demanda y la capacidad de personal, enfriamiento y envasado permiten vender esa producción. En una planta limitada por la demanda, aumentar la velocidad puede aportar poco valor; en otra limitada por la capacidad, unos pocos minutos perdidos pueden dominar los costes químicos. Ingeniería y finanzas necesitan el mismo mapa de proceso.

Conviene llevar tres registros de valor separados. El primero recoge el gasto directo en recursos: agua, aguas residuales, electricidad, calor, concentrado químico o mineral, mano de obra y consumibles. El segundo corresponde a la contribución industrial: rendimiento, disponibilidad de línea, reprocesado, rebajas de categoría comercial, paradas por limpieza y rechazos evitables. El tercero comprende los riesgos: consecuencias ponderadas por probabilidad de una intervención regulatoria, una retirada importante, la pérdida de una autorización de exportación, la exclusión de un distribuidor o un incidente de transmisión alimentaria. Esta tercera categoría puede tener consecuencias graves, pero también es la más fácil de exagerar. Sin datos locales fiables de frecuencia y gravedad, las estimaciones de pérdidas esperadas deben presentarse como escenarios y no incorporarse al cálculo del retorno de inversión como si fueran ahorros realizados.

IV. Un modelo industrial transparente: cuando un buen resultado microbiológico es una mala inversión

Consideremos un matadero de pollos de engorde deliberadamente hipotético en la UE que procesa 30 millones de aves al año. Supongamos 2,0 kg de equivalente de canal comercializable por ave, 9 litros de agua de entrada por ave y 0,55 kWh de energía eléctrica neta equivalente por ave. Supongamos también que el coste combinado del agua y su tratamiento residual es de 2,80 €/m^3 y el de la electricidad de 0,16 €/kWh. En esta planta ilustrativa, un volumen anual de 270.000 m^3 de agua supone un gasto de 756.000 €, mientras que la energía cuesta 2,64 millones de euros. Estas cifras son hipótesis transparentes elegidas para ilustrar el análisis económico y no resultados medidos en clientes de INTABIOTECH. La hipótesis energética se sitúa dentro del intervalo asociado a las MTD citado anteriormente; el consumo de agua de entrada elegido no es la misma magnitud que el intervalo MTD de vertido de aguas residuales [5].

Se supone que una propuesta de mejora integrada del control microbiológico requiere una inversión inicial de 950.000 € y un gasto operativo anual adicional de 420.000 €. Estas cantidades no constituyen una oferta ni una estimación de costes de KNAMAX™. Son valores provisionales que incorporan posibles gastos en equipos, monitorización, mantenimiento, preparación del proceso y validación. La planta hipotética soporta actualmente 0,024 € por ave en costes de reprocesado, retención o pérdida de categoría atribuibles a la microbiología, equivalentes a 720.000 € anuales. También registra 0,006 € por ave en pérdidas posteriores por deterioro demostrablemente atribuibles, equivalentes a 180.000 €. Si solo una parte de estas pérdidas puede vincularse de manera creíble a la intervención propuesta, únicamente esa parte debe computarse como beneficio.

SITUACIÓN DE PARTIDA ILUSTRATIVA

Indicador	Hipótesis	Consecuencia anual
Producción anual	30.000.000 de aves	60.000 toneladas equivalentes de canal
Consumo de agua	0,009 m^3/ave	270.000 m^3/año
Coste unitario de agua y aguas residuales	2,80 €/m^3	756.000 €/año
Energía	0,55 kWh/ave a 0,16 €/kWh	2.640.000 €/año
Reprocesado/retención/reclasificación atribuible a microbiología	0,024 €/ave	720.000 €/año
Pérdidas posteriores atribuibles a deterioro	0,006 €/ave	180.000 €/año
Mejora candidata	950.000 € de inversión	420.000 € de gasto operativo anual adicional

En el escenario central, supongamos que la intervención evita el 70 % de los costes de reprocesado, retención y reclasificación (504.000 €), recupera 0,20 puntos porcentuales de rendimiento comercializable (264.000 €, aplicando una contribución adicional de 2,20 € por kilogramo recuperado), reduce el gasto hídrico un 4 % (30.240 €) y evita el 25 % de las pérdidas posteriores por deterioro específicamente atribuibles (45.000 €). El beneficio bruto anual total sería entonces de 843.240 €; al restar los 420.000 € de costes operativos adicionales, el beneficio operativo neto anual se situaría en 423.240 €. Con una tasa de descuento del 10 % durante cinco años, sin considerar valor residual ni impuestos, el valor actual neto (VAN) sería aproximadamente de +654.000 € después de los 950.000 € de inversión. Se trata de un resultado condicionado: si la planta no puede acreditar la variación del rendimiento, o si la reducción de los recuentos microbianos no se traduce en menos reprocesado o desperdicio, el valor disminuye sensiblemente.

ESCENARIOS A CINCO AÑOS

Indicador	Desfavorable	Central	Ejecución favorable
Costes atribuibles de reprocesado evitados	20 %	70 %	85 %
Ganancia de rendimiento comercializable (puntos porcentuales)	0,00	0,20	0,35
Ahorro en gasto relacionado con agua	0 %	4 %	10 %
Pérdidas posteriores por deterioro atribuibles evitadas	0 %	25 %	50 %
Beneficio bruto anual	144.000 €	843.240 €	1.239.600 €
Gasto operativo anual adicional	420.000 €	420.000 €	420.000 €
Beneficio operativo neto anual	−276.000 €	423.240 €	819.600 €
VAN a cinco años al 10 %, descontada inversión de 950.000 €	≈ −2.000.000 €	≈ +654.000 €	≈ +2.157.000 €

La asimetría resulta reveladora. La misma tecnología puede representar una inversión poco atractiva en una planta y resultar económicamente convincente en otra, incluso cuando el resultado del laboratorio microbiológico es idéntico. En este modelo ilustrativo, si se mantienen las hipótesis centrales de rendimiento, agua y deterioro atribuible, la proporción de los 720.000 € anuales de costes actuales de reprocesado, retención o reclasificación que debería evitarse para obtener un VAN no negativo a cinco años es aproximadamente del 46 %. Es un umbral de decisión, no una predicción de eficacia. Si un ensayo riguroso en planta demuestra que ese objetivo es inverosímil, la inversión debería rechazarse con independencia de lo prometedor que parezca el mecanismo.

Para un operador que compara tres o cuatro intervenciones, la pregunta correcta no es simplemente cuál proporciona la mayor reducción logarítmica, sino qué configuración jurídicamente admisible y validada ofrece el mejor valor ajustado por riesgo a cinco años sin empeorar la variabilidad del desempeño en seguridad alimentaria. El análisis de escenarios debe someter a tensión los precios de suministros, los efectos sobre el rendimiento, las pérdidas de velocidad de línea, el consumo de productos químicos, la calidad del agua, las cargas estacionales de las manadas y la fiabilidad de los equipos. Una tecnología que exige intervención continua de un operario y un sistema de dosificación química presenta modos de fallo distintos de los de una mejora pasiva del diseño higiénico. Es necesario considerar explícitamente el coste y el riesgo de esos posibles fallos.

V. De las reducciones logarítmicas publicadas a la probabilidad regulatoria (y los límites de esa conversión)

Un ejercicio estadístico sencillo demuestra por qué las reducciones medias no pueden equipararse a probabilidades de cumplimiento. Imaginemos, únicamente como ejemplo matemático, que la probabilidad de que una canal seleccionada de manera independiente supere 1.000 UFC/g es p. Para una

evaluación de cincuenta muestras que admite como máximo diez superaciones, la probabilidad de más de diez es P[X > 10] cuando X sigue una distribución Binomial(50, p). Con p = 0,24, este modelo sencillo arroja aproximadamente el 68 %; con p = 0,16, alrededor del 17 %; y con p = 0,10, menos del 1 %. Desplazar la cola de la distribución puede, por tanto, representar una diferencia económica significativa incluso cuando el recuento medio solo cambia moderadamente.

Estos valores no deben confundirse con tasas reales de incumplimiento inferidas de los resultados agregados de vigilancia de EFSA del 24,3 % y el 16,4 %. El ejemplo matemático presupone muestras independientes e idénticamente distribuidas. En la industria, las canales suelen agruparse por manada, jornada de sacrificio, explotación, línea y estado de limpieza; la autocorrelación y la sobre-dispersión pueden modificar notablemente la probabilidad. Para los datos de planta suele ser más adecuado un modelo jerárquico beta-binomial o de efectos mixtos logísticos que un modelo binomial sin matices. Tampoco deben combinarse poblaciones de muestreo distintas como si fueran brazos aleatorizados de un experimento. El modelo ilustra la importancia de los resultados distributivos, no afirma que las plantas europeas afronten una probabilidad del 68 % de incumplimiento legal.

El ensayo debería cuantificar al menos cuatro indicadores microbiológicos independientes. El primero es la concentración log10 de Campylobacter en piel del cuello de canales refrigeradas, obtenida mediante el método de referencia pertinente, incluidos los percentiles altos y la proporción superior al umbral de proceso. El segundo es la incidencia de Salmonella y el comportamiento de los serovares relevantes cuando lo exijan la normativa y el análisis de peligros. El tercero es la evolución de la higiene a través del escaldado, desplumado, evisceración, lavado y enfriamiento, de modo que se hagan visibles tanto las reducciones como las adquisiciones posteriores de contaminación. El cuarto comprende las poblaciones alterantes y la vida útil sensorial durante la distribución; este último indicador es imprescindible antes de atribuir ahorros derivados de una mayor duración comercial. Sin ese análisis, asignar más valor de vida útil a una intervención contra Campylobacter sería especulativo.

Un experimento industrial bien diseñado también requiere seleccionar correctamente la unidad experimental. Tomar numerosos hisopados de una sola manada no genera numerosas réplicas independientes a nivel de explotación. En un ensayo de series temporales o de implantación escalonada (stepped wedge), los períodos de tratamiento y control deben tener en cuenta la estación, el origen de las manadas, la deriva de los equipos y los cambios en la limpieza química. Toda validación debe cuantificar recuperaciones, neutralización de efectos residuales del tratamiento en el ensayo microbiológico y coste del aumento de los análisis. Una pequeña mejora absoluta puede valer mucho si evita un cuello de botella recurrente, pero solo cuando persiste en manadas sucesivas e independientes y dentro del régimen operativo legal.

VI. Las estrategias de control consolidadas y la cuestión pendiente de coste y rendimiento

La bioseguridad y la gestión de las manadas actúan antes de las intervenciones más costosas de la planta. Reducen la carga que llega a la línea, pero el valor generado se distribuye entre el ganadero, el integrador y el matadero. Cuando la explotación y el procesado están separados contractualmente, la empresa que paga una bioseguridad mejorada puede no captar todo el beneficio industrial. Los incentivos importan. Una estrategia de procesado que presuponga una carga inicial uniforme quedará expuesta a la variación estacional o a un cambio en la combinación de proveedores.

Los equipos y el diseño higiénico pueden superar económicamente a un tratamiento antimicrobiano posterior cuando el fallo principal consiste en la recontaminación. El mantenimiento de los dedos de las desplumadoras, los ajustes de evisceración, el control de las roturas intestinales, la separación de transportadores, el flujo de agua y la retirada de sólidos orgánicos pueden modificar, cada uno de ellos, el

balance microbiano neto. Estas mejoras pueden exigir inversiones moderadas y evitar cargas químicas o térmicas, pero necesitan evidencia de que se ha corregido la vía real de contaminación. Deberían ensayarse antes de incorporar otra intervención a una línea mal controlada. La revisión de la FSA, que encontró incrementos durante el desplumado y resultados inconsistentes en la evisceración, refuerza esta secuencia [3].

El escaldado y los tratamientos térmicos superficiales ofrecen mecanismos físicos establecidos y reducciones potencialmente importantes. Su coste económico depende de la generación de agua caliente y vapor, la recuperación de calor, la capacidad de refrigeración, el tiempo de permanencia en línea y la calidad de las canales. Modificar la intensidad del escaldado puede afectar a la eficiencia del desplumado y a la integridad de la piel, convirtiendo la intervención en una variable de proceso con múltiples objetivos. Una reducción logarítmica nominalmente elevada debe valorarse junto con el producto dañado, la energía y las etapas posteriores de contaminación. La temperatura del tratamiento también afecta a la seguridad laboral y al diseño de los equipos.

Las estrategias de enfriamiento con agua fría o aire modifican las cargas microbianas, la humedad del producto, el tiempo de enfriamiento y el consumo de agua de proceso. El enfriamiento por inmersión puede aportar retirada y dilución adicionales, pero plantea dificultades de gestión del agua compartida; el enfriamiento por aire presenta otras características de inversión, energía, pérdida de humedad y capacidad. Las diferencias entre plantas, climas, tipos de producto y normas nacionales impiden establecer una clasificación económica universal. Del mismo modo, las tecnologías de envasado pueden mejorar el deterioro o los resultados de distribución sin generar reducciones equiparables del patógeno de interés. Un envase en atmósfera modificada no sustituye el control de Campylobacter durante el sacrificio.

Los tratamientos antimicrobianos químicos pueden ser comercialmente atractivos cuando están expresamente autorizados, pero su disponibilidad legal difiere considerablemente según el país y el uso. Las revisiones suelen informar reducciones importantes con ácidos orgánicos y agentes oxidantes, aunque también encuentran heterogeneidad elevada y, en algunos estudios, una confianza limitada. En la Unión Europea, la principal restricción para la descontaminación superficial directa de la carne de ave no es simplemente si el tratamiento funciona. Es si la sustancia y el uso específicos están autorizados conforme al régimen de higiene aplicable a productos de origen animal. El Instituto Federal Alemán de Evaluación de Riesgos (BfR) señaló públicamente en 2025 que los agentes de descontaminación química no estaban permitidos para la carne de ave en la UE; la página temática de EFSA sobre sustancias descontaminantes identifica la autorización del ácido láctico para canales bovinas, no una autorización general para aves [8,9]. Una práctica estadounidense basada en ácido peracético no puede importarse como precedente jurídico europeo en el sector avícola.

Las plataformas emergentes —entre ellas los tratamientos de alto voltaje, los campos eléctricos pulsados, el plasma, la radiación UV y la luz violeta-azul, los medios generados electroquímicamente, los bacteriófagos y los sistemas activos sobre membranas— merecen estudiarse, pero no agruparse bajo una misma etiqueta de rendimiento. Su consumo energético, mecanismo de contacto, compatibilidad con la carne, residuos posteriores al tratamiento, escala de los equipos, capacidad comercial y situación jurídica son diferentes. No todos los métodos físicos han demostrado eficacia sobre canales completas; de hecho, algunos ensayos resumidos por la FSA comunicaron reducciones mínimas o no significativas. El valor de un enfoque novedoso reside en resolver un cuello de botella documentado en condiciones industriales, no en ser novedoso por su descripción [3].

VII. Transformación reactiva del agua de proceso: propuesta industrial KNAMAX™/AAI

Una línea de investigación especialmente relevante para INTABIOTECH es la transformación deliberada del agua de proceso antes de su punto de utilización. La plataforma KNAMAX™ se describe en la documentación técnica de la empresa como un concentrado mineral reactivo de grado alimentario incorporado en la fase de preparación del agua para generar AAI (Activated Alkaline Ionized Water, agua alcalina ionizada activada). La secuencia prevista es concentrado → reacción controlada en el agua → AAI caracterizada → punto de contacto industrial seleccionado → verificación del desempeño. Esto difiere materialmente de describir el modelo industrial como aplicación de un producto químico sin diluir sobre canales de pollo y de definir toda la tecnología como un simple incremento de la alcalinidad del agua. La variable tecnológica propuesta es el estado del medio acuoso resultante, incluidas sus propiedades iónicas e interfaciales y su interacción con el proceso [17].

El atractivo conceptual es real. El agua ya circula por operaciones críticas, alcanza superficies y transporta calor y materia particulada. Si una etapa de preparación controlada pudiera convertirla de manera reproducible en un medio de proceso más eficaz, sin introducir residuos inaceptables, daños de calidad, lavados adicionales posteriores ni costosas restricciones de adaptación de instalaciones, el valor resultante podría ir más allá de los recuentos microbianos. Entre los posibles beneficios que merece la pena comprobar figuran la menor recontaminación, la reducción del reprocesado, una mayor estabilidad del proceso, un menor uso de intervenciones adicionales, la mejora de la gestión hídrica o la conservación de la calidad. Ninguno de estos beneficios debería incorporarse a la previsión financiera de una planta antes de ser medido. Además, disminuir la concentración de un contaminante en una muestra de agua no equivale a demostrar una ventaja sobre la piel o la carne en una línea industrial en movimiento.

El modelo IONOFORÉSIS™/ECMD (*Electro-Cell Membrane Disruption*®) de la empresa propone una interacción iónica y electroquímica intensa con las envolturas de las células microbianas, potencialmente capaz de alterar los gradientes electroquímicos, el transporte a través de membrana, la permeabilidad y la homeostasis [17]. Estas hipótesis de investigación cuentan ahora con una descripción clara de la evidencia específica del mecanismo. Una disolución acuosa rica en electrolitos presenta una conductividad y un comportamiento interfacial modificados, pero la conductividad por sí sola no demuestra una carga eléctrica neta sostenida, un campo transmembrana generado externamente ni una electroporación en el sentido preciso establecido para los campos eléctricos aplicados de forma controlada. La pérdida de viabilidad de un microorganismo tras el contacto con AAI no permitiría, por sí sola, distinguir el estrés iónico convencional de una vía específica de disrupción electromecánica de membrana. Un expediente mecanístico convincente incorpora controles equivalentes de pH y fuerza iónica, ensayos de potencial y permeabilidad de membrana, recuperación microbiológica tras neutralización y caracterización fisicoquímica independiente. La reacción exacta se está documentando bajo confidencialidad controlada, con balances de masa y carga cuando sean técnicamente pertinentes.

La integración industrial suele comenzar con la caracterización del agua de origen: dureza, alcalinidad, iones mayoritarios, carga orgánica, temperatura, arrastre de productos de limpieza y variación estacional. La etapa de generación precisa un intervalo de mezcla y reacción verificado, límites de proceso definidos e identidad de lote trazable. En el punto de aplicación, el tiempo de contacto, la presión, el tamaño de gota o el régimen de inmersión, la relación agua/ave, el caudal, el drenaje y la renovación determinan si el sistema puede alcanzar la superficie objetivo a escala industrial. Los ensayos incluyen monitorización en línea y comparación del agua tratada con agua de proceso sin tratar y medios de referencia convenientemente equiparados. Las mediciones posteriores abarcan calidad de la carne de ave, residuos o transferencia de iones, microbiología y efectos sobre las aguas residuales. El rendimiento debería analizarse dentro de una ventana de proceso AAI y no mediante una cifra universal de dosis-respuesta desvinculada de la química del agua.

Podría surgir una oportunidad atractiva para la plataforma si la etapa de preparación del agua puede incorporarse a instalaciones existentes, las señales de control resultan económicas y se consiguen mejoras microbiológicas verificadas sin penalización energética térmica, deterioro medible de la carne ni aclarado adicional. Es una hipótesis sobre ventajas de ingeniería, no un informe de ahorros ya establecidos. Debe compararse con al menos dos alternativas: una situación de referencia con agua e higiene existentes optimizadas y una modificación convencional del proceso jurídicamente admisible. De lo contrario, cualquier mejora observada podría limitarse a reflejar el mal funcionamiento de la línea de comparación. Lo ideal sería que los ensayos comerciales informasen el coste neto por ave, la variabilidad independiente entre manadas, la estabilidad del tratamiento, los cambios en el consumo de agua y la proporción de muestras situada en la cola de mayor contaminación.

El análisis regulatorio debe seguir exactamente la alegación y el uso propuestos. El Reglamento (UE) n.º 528/2012 define los biocidas haciendo referencia al control de organismos nocivos mediante acciones distintas de una mera acción física o mecánica; esto hace relevante la demostración del mecanismo, pero ni la etiqueta «físico» ni una afirmación de electroporación no verificada establecen automáticamente la exclusión. Independientemente, el artículo 3.2 del Reglamento (CE) n.º 853/2004 restringe el uso de sustancias distintas del agua potable (o agua limpia cuando esté permitida) para eliminar la contaminación superficial de productos de origen animal, salvo aprobación de la Comisión. La sentencia del Tribunal de Justicia en el asunto Micreos Food Safety, C-745/22, confirmó una interpretación amplia que alcanza una sustancia utilizada para prevenir la contaminación superficial de alimentos listos para el consumo de origen animal [10–12]. Determinar si el AAI obtenido reúne jurídicamente los requisitos del agua permitida o constituye una sustancia o intervención comprendida en el artículo 3.2 exige una valoración individualizada de su composición efectiva, función y contacto previsto, respaldada por la autoridad competente. La acreditación de un mecanismo no biocida no resolvería por sí misma esta cuestión independiente de higiene alimentaria. En la actualidad, esta alternativa se está considerando como coadyuvante tecnológico capaz de acondicionar el agua con una acción funcional sobre las aves.

VIII. Una comparación entre jurisdicciones que modifica la decisión de inversión

Unión Europea y España. Los Reglamentos (CE) n.º 852/2004 y n.º 853/2004 proporcionan el marco general de higiene, mientras que el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 establece los criterios microbiológicos pertinentes y el Reglamento (UE) 2017/1495 introduce la modificación relativa a Campylobacter. En España también deben examinarse el Real Decreto 3/2023 y los requisitos correspondientes al agua utilizada por las empresas alimentarias. Los resultados de higiene de proceso generan obligaciones de adoptar medidas correctoras, no la conclusión automática de que todas las canales de un período de muestreo sean impropias para la venta. Para la descontaminación superficial directa de aves, la distinción del artículo 3.2 es decisiva. El Real Decreto 773/2023 español sobre coadyuvantes tecnológicos no desplaza automáticamente las exigencias más específicas aplicables a alimentos de origen animal. Para la reutilización del agua, el operador debe distinguir el agua regenerada del agua potable de proceso y evaluar el contacto previsto; el Real Decreto 1085/2024 establece condiciones específicas para su uso en empresas alimentarias [2,10–14].

Gran Bretaña e Irlanda del Norte. La legislación británica sobre higiene alimentaria y biocidas debe comprobarse en su versión territorial aplicable. El régimen interno de Gran Bretaña no puede deducirse sin más de todas las modificaciones posteriores de la UE; Irlanda del Norte exige un examen diferenciado de los acuerdos pertinentes vinculados al derecho europeo. La investigación de 2026 de la FSA británica sobre intervenciones contra Campylobacter constituye una fuente científica valiosa, pero una revisión bibliográfica de la FSA no confiere autorización a un tratamiento nuevo concreto. Para exportar a cualquiera de estos territorios, el expediente debería identificar la autoridad competente, la clasificación

del producto, las especificaciones aplicables al agua, las autorizaciones del tratamiento y las alegaciones, en lugar de limitarse a declarar «conforme en Reino Unido» [3,15].

Estados Unidos. La supervisión del USDA-FSIS, y no la traslación directa de las normas de la UE, determina la situación de las intervenciones aplicadas al sector avícola. Las sustancias, condiciones y procesos aplicables deben comprobarse frente a la documentación vigente del FSIS sobre ingredientes seguros y adecuados (***safe and suitable***), las normas federales y los requisitos de los establecimientos. La propuesta de 2024 sobre el marco de Salmonella para productos avícolas crudos se retiró en abril de 2025; no debe presentarse como legislación actualmente vinculante [16]. Un método permitido en un sistema de enfriamiento estadounidense no resulta por ello admisible en un matadero español. A la inversa, una evaluación europea de un proceso físico no sustituye las condiciones de uso del FSIS en Estados Unidos. La divergencia regulatoria genera costes concretos a los proveedores internacionales: los programas de ensayos, el diseño de los sistemas de agua y la justificación jurídica pueden necesitar variantes específicas según el destino.

MATRIZ DE DECISIÓN REGULATORIA

Cuestión de decisión	UE / España	Gran Bretaña / Irlanda del Norte	Estados Unidos
Higiene de proceso / patógenos	Regl. 2073/2005 y 2017/1495; comprobar criterios específicos del producto	Comprobar normas territoriales de higiene y disposiciones FSA/FSS	Estándares de desempeño FSIS, verificación y APPCC
Descontaminación superficial de aves	Art. 3.2, Regl. 853/2004; cuestión de autorización específica	Normativa interna, autoridad competente y situación territorial	Sustancias y condiciones seguras y adecuadas según FSIS
Agua de proceso o reciclada	Regl. 852/2004; RD 3/2023 en España; normas de reutilización aplicables	Normas territoriales sobre alimentos y agua	Normas estadounidenses sobre agua potable y establecimientos FSIS
Medio reactivo novedoso	La química, el mecanismo, los residuos y la función prevista determinan la clasificación	Evaluación territorial diferenciada	Autorización específica de sustancia y proceso
Condición previa a la inversión	Admisibilidad jurídica antes de la implantación comercial	Confirmar normativa local vigente	Confirmar situación y condiciones FSIS

IX. Oportunidad de investigación e innovación: el mapa de valor del control microbiológico

La cuestión pendiente no es si las plantas necesitan un control mejor: eso ya está demostrado. La pregunta más precisa es si una intervención integrada en el proceso puede reducir materialmente la cola superior de la contaminación microbiana y, al mismo tiempo, mejorar o al menos preservar la economía de cada kilogramo comercializable. Los ensayos microbiológicos de desafío (challenge tests), la monitorización del proceso, la contabilidad de costes, el análisis del agua y el control estadístico son disciplinas consolidadas. No existe fundamento para presentar su combinación como un principio científico recién descubierto. La posible contribución investigadora consiste en un diseño comparativo reproducible que permita comprobar si un sistema conectado de cualificación biológica, ingenieril y económica mejora las decisiones frente a un procedimiento convencional basado principalmente en la reducción logarítmica media anunciada por el proveedor.

Puede formularse una hipótesis falsable: en un conjunto definido de líneas de procesado avícola, las intervenciones cualificadas mediante un «Mapa de valor del control microbiológico» que considere la distribución de los resultados producirán menos fracasos comerciales en fases avanzadas que las seleccionadas únicamente por la reducción microbiológica media. Una segunda hipótesis, más específica, se refiere al acondicionamiento mineral reactivo del agua de proceso: dentro de determinadas ventanas operativas, el rendimiento del AAI verificado de forma independiente podría aumentar la proporción de muestras de canales refrigeradas que se sitúan por debajo de un umbral de contaminación

predefinido, sin cambios desfavorables en agua, energía, calidad de la carne o coste de procesado por ave. Ninguna de las dos afirmaciones queda demostrada por el presente artículo.

El estudio debería incluir cuatro módulos interrelacionados. El módulo de situación inicial recogería el origen y la estación de las manadas, la contaminación entrante, la etapa de procesado, la química del agua, la velocidad de línea, la limpieza existente, los suministros, el rendimiento, los residuos y los resultados de calidad. El módulo analítico caracterizaría el agua tratada durante la preparación y en el punto de uso y aplicaría métodos microbiológicos apropiados para la matriz, con neutralización y recuperación verificadas. El módulo causal utilizaría una comparación por bloques, aleatorizada o de implantación escalonada cuidadosamente diseñada, teniendo en cuenta los efectos de la manada y la línea, con asignación del tratamiento y criterios de aceptación definidos antes de observar los datos. El módulo económico calcularía la contribución incremental, el uso de agua y energía, la mano de obra, los consumibles, las paradas y los resultados ajustados al riesgo utilizando registros contables internos reales, no cifras de folletos comerciales.

Es esencial comparar **tres estados de producción**: la situación de partida documentada; una referencia optimizada mediante mejoras higiénicas y de proceso de bajo coste; y esa misma referencia optimizada más la tecnología candidata. Así se evita atribuir a la nueva intervención ganancias que se habrían conseguido con la corrección ordinaria del escaldado, la evisceración, la higiene de las desplumadoras o el enfriamiento. También se garantiza que el competidor no sea una situación inicial artificialmente deficiente. La verificación por laboratorios independientes y la repetición en diferentes estaciones serían especialmente valiosas cuando las cargas microbianas de referencia fluctúan acusadamente.

El éxito debería exigir un efecto microbiológico predefinido que persista entre manadas independientes y mejore materialmente el indicador distributivo relevante, sin impacto inaceptable en la calidad de la carne, los residuos o la seguridad alimentaria. El éxito económico exige, además, un valor positivo ajustado por riesgo después de considerar las inversiones y los costes operativos, así como la admisibilidad jurídica del proceso exacto. Una reducción estadísticamente significativa de 0,2 unidades logarítmicas puede resultar económicamente importante cuando el proceso opera cerca de un umbral de cumplimiento; otra mayor puede ser irrelevante si una etapa posterior recontamina rápidamente el producto. Ambos resultados deben comunicarse. Un resultado negativo también proporciona información útil cuando permite descartar una implantación inadecuada o identificar la limitación de ingeniería que debe resolverse.

Los datos generados podrían sustentar mejores modelos predictivos. Un gemelo digital o un sistema de aprendizaje automático podría anticipar qué combinaciones de química del agua, contaminación de las manadas y parámetros de línea se asocian a recuentos elevados después del enfriamiento; sin embargo, no debe inferir un mecanismo microbiano únicamente a partir de correlaciones ni tratar las predicciones como certificaciones legales. Una implantación rigurosa conserva los registros originales, la versión del modelo, el ámbito de validación, la calibración y la incertidumbre, y activa una revisión humana ante situaciones fuera del dominio evaluado. Antes de afirmar que el modelo predice fallos bajo condiciones comerciales no observadas, es indispensable una validación externa prospectiva.

Para un proveedor de tecnologías emergentes, este programa tendría un valor estratégico que va más allá de una sola venta. Podría identificar dónde funciona la tecnología y dónde no, cómo escala, qué fuentes de agua requieren controles adicionales, qué equipos son imprescindibles y qué afirmaciones industriales resisten un examen independiente. También proporcionaría la base para propuestas técnico-económicas sólidas, en lugar de extrapolar una curva de inactivación de laboratorio a todo el mercado avícola de un país. Cuando interviene conocimiento técnico reservado, la formulación química puede facilitarse bajo confidencialidad controlada a laboratorios y autoridades competentes sin necesidad de divulgar públicamente secretos empresariales; la composición relevante para la seguridad y la trazabilidad analítica no pueden sustituirse por el secreto.

X. Conclusiones: invertir en mejoras netas verificadas, no en una puesta en escena microbiológica

A la industria avícola no le faltan ideas antimicrobianas. Lo que falta en muchos entornos es una manera suficientemente integrada de determinar por qué falla una etapa, dónde debe situarse la siguiente intervención y si resulta defendible el coste de obtener el resultado. La vigilancia de EFSA/ECDC y las revisiones sistemáticas contemporáneas muestran que persisten cargas considerables de Campylobacter y que las operaciones convencionales pueden tanto eliminar como reintroducir contaminación. Su mensaje no es que deban abandonarse los métodos consolidados ni que una nueva tecnología vaya a resolver los problemas de todas las plantas. Es que la gestión microbiana debe prestar más atención a la distribución de resultados, a las particularidades de cada proceso y a la responsabilidad económica.

Las mejores decisiones de inversión valorarán toda la cadena de consecuencias. Una intervención higiénica tiene valor cuando modifica de forma medible la distribución de contaminación relevante, protege la calidad del producto, reduce pérdidas evitables de procesado, conserva recursos o disminuye un riesgo empresarial demostrable. La importancia de cada resultado cambia según la distribución de la planta, la procedencia de las manadas, la calidad del agua, las limitaciones de capacidad y el mercado de destino. Una tecnología prometedora con clasificación jurídica pendiente de resolver o con un ensayo piloto deficiente todavía no es una solución comercialmente validada, con independencia de la confianza del fabricante en su mecanismo.

La transformación mineral reactiva del agua de proceso, incluida KNAMAX™/AAI, merece ocupar un lugar técnicamente serio en esa investigación. Su valor propuesto no es una alegación genérica de elevada alcalinidad ni la aplicación directa de un producto químico concentrado sobre la carne; consiste en la ingeniería de un medio funcional de proceso antes de su utilización. Que esa promesa se convierta en ventaja medible depende de la demostración independiente de la reacción, las propiedades del agua resultante, los efectos microbianos, la compatibilidad alimentaria, la admisibilidad jurídica y el coste efectivo. Si estas cuestiones se resuelven adecuadamente, el resultado podría convertirse en una aportación industrial importante. En caso contrario, la disciplina de la evaluación servirá al menos para evitar que el entusiasmo microbiológico conduzca a una mala asignación de capital.

Por tanto, la conclusión económica más importante también es científica: una reducción comunicada en unidades logarítmicas solo adquiere significado industrial cuando se han establecido su persistencia causal, su efecto distributivo, sus consecuencias sobre los recursos y la licitud de su utilización. La próxima generación de sistemas de control avícola debería juzgarse por esta evidencia integrada y no por la novedad de su vocabulario.

Áreas de conocimiento relacionadas

Seguridad Alimentaria; Biotecnología; Tecnologías de Procesado; Tecnologías Minerales; Asuntos Regulatorios; IA y Alimentación; Sostenibilidad; Investigación Emergente.

Referencias y fuentes primarias

[1] EFSA y ECDC. Informe One Health de la Unión Europea sobre zoonosis 2024. EFSA Journal. 2025. DOI: 10.2903/j.efsa.2025.9759. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9759

[2] Reglamento (UE) 2017/1495 de la Comisión, que modifica el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 en lo relativo a Campylobacter en canales de pollos de engorde. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R1495

[3] Food Standards Agency y colaboradores. Intervenciones aplicadas en mataderos para reducir la carga de Campylobacter spp. FSA Research and Evidence. 2026. DOI: 10.46756/001c.161470. https://doi.org/10.46756/001c.161470

[4] Zefanias O, Novo Barros A, Cadavez V, Gonzales-Barron U. Efecto de etapas críticas de procesado e intervenciones sobre Campylobacter en carne de ave a nivel de matadero: metaanálisis integral. Applied Microbiology. 2026;6(7):77. DOI: 10.3390/applmicrobiol6070077. https://doi.org/10.3390/applmicrobiol6070077

[5] Decisión de Ejecución (UE) 2023/2749 de la Comisión, por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para mataderos e industrias de subproductos animales o coproductos comestibles. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023D2749

[6] Food Standards Agency. Revisión de intervenciones en la cadena alimentaria con potencial para reducir los niveles de Campylobacter en carne de pollo. FSA Research and Evidence. 2026. https://science.food.gov.uk/article/161468

[7] Intervenciones para reducir Salmonella y Campylobacter durante el enfriamiento y las etapas posteriores del procesado avícola: revisión sistemática y metaanálisis. 2024. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10864810/

[8] Instituto Federal Alemán de Evaluación de Riesgos (BfR). Preguntas y respuestas sobre la descontaminación química de carne de ave. https://www.bfr.bund.de/en/service/frequently-asked-questions/topic/questions-and-answers-on-chemical-decontamination-of-poultry-meat/

[9] Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). Sustancias descontaminantes: información temática y dictámenes científicos. https://www.efsa.europa.eu/en/topics/decontaminating-substances

[10] Reglamento (CE) n.º 853/2004 por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal, texto consolidado. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/853

[11] Tribunal de Justicia de la Unión Europea. Micreos Food Safety, asunto C-745/22. Sentencia de 22 de febrero de 2024. ECLI:EU:C:2024:160. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:62022CJ0745

[12] Reglamento (UE) n.º 528/2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas, artículo 3. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2012/528/oj

[13] Reglamento (CE) n.º 852/2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios, anexo II, capítulo VII. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/852/oj

[14] España. Real Decreto 3/2023 (agua de consumo humano); Real Decreto 773/2023 (coadyuvantes tecnológicos); Real Decreto 1085/2024 (agua regenerada). https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-628 ; https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-20563 ; https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2024-21701

[15] Food Standards Agency del Reino Unido. Actualización sobre enfermedades de transmisión alimentaria (2026); encuesta sobre intervenciones contra Campylobacter entre operadores alimentarios (2026). https://www.gov.uk/government/publications/fsa-260307-foodborne-disease-update/foodborne-disease-update ; https://science.food.gov.uk/article/161537

[16] USDA-FSIS. Aviso de retirada de la propuesta relativa al marco de Salmonella para productos avícolas crudos, 90 FR 17344 (25 de abril de 2025); Directiva FSIS 7120.1 (ingredientes seguros y adecuados). https://www.federalregister.gov/documents/2025/04/25/2025-07187/salmonella-framework-for-raw-poultry-products ; https://www.fsis.usda.gov/policy/fsis-directives/7120.1

[17] INTABIOTECH. Documento maestro técnico y de comunicación KNAMAX™, 5 de octubre de 2026; dossier técnico-regulatorio KNAMAX™/INASUR, versión 2.0, 8 de octubre de 2026. Documentos bajo control de la empresa. Las afirmaciones sobre el mecanismo recogidas en este artículo describen la tecnología propuesta, no un estudio de validación independiente.

© 2026 José M. López. Todos los derechos reservados.