



## El uso de cloro como agente de descontaminación en el procesamiento avícola: una crítica exhaustiva

### 1. Introducción

La carne de ave es una fuente proteica fundamental en las cadenas de suministro alimentario a nivel global. Sin embargo, su producción enfrenta importantes desafíos microbiológicos que pueden comprometer tanto la seguridad alimentaria como la salud del consumidor. Tradicionalmente, la industria avícola ha utilizado métodos de descontaminación basados en cloro para controlar la contaminación bacteriana. Estos métodos, en particular el uso de hipoclorito de sodio (cloro), han sido ampliamente adoptados debido a su aparente simplicidad inicial y bajo costo.

A pesar de su uso extendido, el cloro ha sido objeto de un escrutinio creciente en cuanto a su efectividad, los riesgos para la salud y su impacto en la calidad de la carne. Más preocupante aún es la creciente evidencia sobre la resistencia bacteriana al cloro y la formación de subproductos carcinogénicos, lo que genera dudas sobre su seguridad y viabilidad a largo plazo.

En este documento, analizaremos estas preocupaciones en profundidad, destacando las limitaciones de la descontaminación basada en cloro y proporcionando una comparación detallada con Bio-G-Active, una alternativa innovadora y ampliamente superior.

---

### 2. El cloro como descontaminante: mecanismo de acción

Cuando se disuelve en agua, el cloro forma ácido hipocloroso (HOCl), un potente agente antimicrobiano que actúa alterando las funciones celulares de las bacterias. Este mecanismo incluye:

- **Desnaturalización de proteínas:** El cloro rompe los enlaces peptídicos en las proteínas bacterianas, lo que provoca la pérdida de su función y, en última instancia, la muerte celular.
- **Disrupción de las membranas celulares:** El ácido hipocloroso penetra en las paredes celulares de las bacterias y causa daño oxidativo, lo que provoca la fuga del contenido intracelular.
- **Inactivación de enzimas:** Las enzimas esenciales para el metabolismo y la replicación bacteriana son desactivadas, lo que detiene el crecimiento de los microorganismos.

A pesar de estos mecanismos, la efectividad del cloro depende en gran medida de varios factores, entre ellos:

## Dependencia del pH en la eficacia del cloro

La eficacia antimicrobiana del cloro está altamente influenciada por el pH, ya que este determina la proporción de sus formas activas en solución.

- A **pH bajo (entre 4 y 7)**, el cloro existe principalmente como ácido hipocloroso (HOCl), que es altamente efectivo para penetrar las paredes celulares bacterianas y alterar sus funciones celulares.
- Sin embargo, cuando el **pH supera 7.5**, una gran parte del cloro se convierte en iones hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), que tienen una capacidad desinfectante significativamente menor.
- A **pH superiores a 8.5**, la mayor parte del cloro se encuentra en forma de hipoclorito, reduciendo su actividad bactericida a una fracción de su potencial.

Esto resulta especialmente problemático en entornos de procesamiento avícola, donde el pH del agua de proceso puede fluctuar debido a la carga orgánica y la presencia de sustancias alcalinas. Como consecuencia, los tratamientos con cloro requieren un estricto control del pH para mantener su eficacia, lo que añade complejidad y la necesidad de ajustes químicos adicionales al proceso.

## Presencia de materia orgánica

La eficacia del cloro se ve considerablemente reducida en presencia de materia orgánica, como sangre, grasa y residuos proteicos en el agua de proceso. El cloro reacciona con estas sustancias formando compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales son subproductos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

## Tiempo de contacto

Para que el cloro ejerza su efecto bactericida, se requiere un tiempo de exposición adecuado. Sin embargo, en las plantas de procesamiento avícola, las limitaciones operativas suelen dar lugar a tiempos de contacto más cortos de lo necesario, lo que reduce su eficacia.

---

## 3. Limitaciones de la eficacia del cloro y resistencia bacteriana

A pesar de su uso prolongado en la industria avícola, la eficacia del cloro como agente descontaminante está siendo cada vez más cuestionada. Diversos estudios han demostrado que las reducciones bacterianas logradas con la cloración son inconsistentes y con frecuencia no cumplen los estándares aceptables de seguridad alimentaria. Patógenos comunes como *Salmonella* y *Campylobacter* solo se reducen de manera moderada con las concentraciones de cloro típicas en el procesamiento avícola y, aun cuando se emplean concentraciones más altas, los resultados siguen siendo subóptimos.

### 3.1 Reducciones inconsistentes

Varios estudios han evidenciado que las reducciones bacterianas obtenidas con cloro oscilan entre **0.5 y 1.5 log cfu/cm<sup>2</sup>**, lo cual es insuficiente para garantizar la seguridad alimentaria

(Kotula et al., 1967; Wabeck et al., 1968). Esta variabilidad en la reducción bacteriana se debe a varios factores:

- **Diferencias en la carga bacteriana:** Cuanto mayor es el número inicial de bacterias, más difícil es reducir su población. Además, la eficacia del cloro disminuye a medida que aumenta la carga microbiana.
- **Condiciones ambientales:** La temperatura y la carga orgánica en el agua de proceso influyen significativamente en el rendimiento del cloro. Por ejemplo, cuando el cloro se introduce en agua con alta carga orgánica, se generan subproductos clorados como los **trihalometanos (THMs)**, lo que reduce drásticamente la cantidad de cloro libre disponible para una desinfección efectiva.

### 3.2 Bacterias resistentes al cloro

El aspecto más preocupante del uso prolongado del cloro es la **aparición de resistencia bacteriana** en ciertas cepas. Varias especies de bacterias, incluidos patógenos gramnegativos como *Escherichia coli* y *Salmonella*, han desarrollado mecanismos de supervivencia en entornos tratados con cloro. Estos mecanismos incluyen:

- **Formación de biofilms:** Las bacterias dentro de un biofilm están protegidas de los efectos del cloro. La matriz del biofilm resguarda a las células internas, haciendo que la cloración estándar sea insuficiente para penetrar y eliminar los microorganismos (Mead & Thomas, 1973).
- **Bombas de eflujo:** Algunas bacterias han desarrollado **bombas de eflujo**, que expulsan activamente el cloro y otras sustancias nocivas fuera de la célula, permitiéndoles sobrevivir incluso en ambientes con alta concentración de cloro.
- **Alteraciones en la estructura de la membrana:** Ciertas bacterias han modificado la estructura de su membrana externa para evitar la penetración del cloro en sus células, reduciendo así su eficacia (LeChevallier et al., 1988).

Estas adaptaciones no solo disminuyen la eficacia del cloro, sino que también **aumentan el riesgo de contaminación cruzada** en las plantas avícolas, ya que las cepas resistentes al cloro pueden propagarse de una canal a otra, comprometiendo la seguridad alimentaria.

---

## 4. Riesgos para la salud asociados con el uso de cloro en el procesamiento de alimentos

### 4.1 Formación de subproductos nocivos

Uno de los problemas más graves del uso de cloro en el procesamiento avícola es la generación de **subproductos tóxicos**, incluidos **trihalometanos (THMs)** y compuestos orgánicos clorados. Cuando el cloro entra en contacto con la materia orgánica presente en las canales de ave, se producen una serie de compuestos perjudiciales, como:

- **Cloroformo:** Un carcinógeno conocido, el cloroformo se detecta con frecuencia en la piel y la grasa del pollo después del tratamiento con agua clorada. Los niveles de cloroformo en la carne de ave **superan ampliamente los límites permitidos en el**

**agua potable** (Robinson et al., 1981). El consumo prolongado de carne contaminada con cloroformo se ha relacionado con **daños en el hígado, los riñones y el sistema nervioso central**.

- **Clorohidrocarburos:** Estos compuestos, formados por la reacción del cloro con las grasas y proteínas, **tienen efectos mutagénicos** y pueden persistir en el medio ambiente, contribuyendo a una exposición tóxica a largo plazo (Noller, 1960).
- **Sustancias mutagénicas:** Estudios han demostrado que el agua clorada, **especialmente cuando se reutiliza o se filtra**, puede contener sustancias mutagénicas capaces de causar **mutaciones genéticas y aumentar el riesgo de cáncer**. Estas sustancias pueden detectarse en concentraciones tan bajas como **100 ppm** (Masri, 1986).

Los riesgos asociados con estos compuestos son especialmente preocupantes debido a las estrictas regulaciones sobre la seguridad alimentaria y el uso de aditivos químicos. A diferencia del agua potable, donde los niveles de subproductos clorados son **rigurosamente controlados**, el procesamiento avícola carece de una supervisión equivalente, lo que permite que niveles peligrosos de **THMs y otros subproductos entren en la cadena alimentaria sin ser detectados**.

#### 4.2 Irritación respiratoria y de mucosas

Los trabajadores de las plantas de procesamiento avícola están **frecuentemente expuestos** a vapores y aerosoles de cloro, especialmente en áreas donde se utiliza agua clorada para el enfriamiento y el lavado de las canales.

- Incluso en **concentraciones moderadas**, el cloro puede provocar **irritación en los ojos, la nariz y la garganta**.
- En **concentraciones más altas** (por ejemplo, **50 ppm**), los vapores de cloro pueden causar **graves problemas respiratorios**, con síntomas que van desde **tos crónica hasta dificultad para respirar** (Thomson et al., 1979).
- La exposición prolongada puede **provocar daños irreversibles en el sistema respiratorio e incrementar el riesgo de enfermedades pulmonares ocupacionales**.

#### 4.3 Corrosión de metales y daño a los equipos

La **naturaleza corrosiva del cloro** representa un desafío significativo para los equipos utilizados en el procesamiento avícola.

- El uso de cloro, especialmente a **pH bajos**, acelera la **degradación de la maquinaria de acero inoxidable**.
  - Esta corrosión **reduce la vida útil** del equipo, aumentando los costos de mantenimiento y reemplazo.
  - Además, la degradación de los metales **puede contaminar el pollo** con partículas metálicas y materiales deteriorados (Schliesser & Strauch, 1981).
-

## 5. Impacto negativo en la calidad de la carne de ave

### 5.1 Degradación sensorial

El uso de cloro, especialmente en **altas concentraciones**, puede provocar una serie de efectos sensoriales negativos en la carne de ave, entre ellos:

- **Sabores y olores indeseables:** A concentraciones de cloro superiores a **60 ppm**, la carne de ave **desarrolla un olor químico característico** y un **sabor a cloro**, lo que reduce significativamente su atractivo para el consumidor (*Dixon & Pooley, 1961*).
- **Alteraciones en la textura:** El agua clorada puede **modificar la estructura proteica** de la carne, generando **cambios texturales no deseados**, como un aumento en la **dureza** y una **pérdida de contenido de humedad**.

### 5.2 Retención de agua y recontaminación

El pollo tratado con agua clorada **retiene cantidades excesivas de agua**, lo que puede favorecer la **contaminación cruzada** durante el procesamiento.

- En la **Unión Europea**, la normativa permite hasta un **6% de retención de agua** en la carne de ave, mientras que en **Estados Unidos** se autoriza hasta un **8%** (*VO EWG 2967/76; Tsai et al., 1992*).
- Esta **retención de agua** puede **albergar bacterias residuales y subproductos**, aumentando el riesgo de **recontaminación** a medida que las canales avanzan a lo largo de la línea de procesamiento.

---

## 6. La ventaja de Bio-G-Active: una solución más segura y eficaz

Bio-G-Active representa un avance significativo en la tecnología de seguridad alimentaria. A diferencia del cloro, que presenta numerosas desventajas, Bio-G-Active ofrece una amplia gama de beneficios sin los riesgos para la salud ni las preocupaciones ambientales asociadas. Una comparación directa entre el cloro y Bio-G-Active destaca la **superioridad de este último en casi todos los aspectos**.

### 6.1 Acción antimicrobiana superior

Bio-G-Active ha demostrado una eficacia antimicrobiana **superior** contra un amplio espectro de patógenos, incluidas cepas resistentes al cloro. Su formulación única le permite **penetrar biofilms y eliminar bacterias en su origen**, lo que lo hace **más efectivo que el cloro** en la reducción de cargas bacterianas.

### 6.2 Sin subproductos nocivos

A diferencia del cloro, Bio-G-Active **no genera subproductos carcinogénicos** como **trihalometanos (THMs) o cloroformo**. Su composición **biodegradable** garantiza que no queden **compuestos químicos perjudiciales** en la carne, convirtiéndolo en una opción más segura tanto para los **consumidores** como para el **medio ambiente**.

### 6.3 Preservación de la calidad de la carne

Bio-G-Active **conserva el sabor, la textura y la apariencia** de la carne de ave.

- **No provoca sabores extraños ni alteraciones sensoriales**, a diferencia del cloro.
- **No deteriora la textura ni genera dureza en la carne**, asegurando que el producto final mantenga su **atractivo visual y sensorial para el consumidor**.

### 6.4 Seguridad para los trabajadores y mayor durabilidad del equipo

- Bio-G-Active es **no irritante y no representa riesgos para los trabajadores** en las plantas de procesamiento.
- **No corroe los equipos metálicos**, lo que **reduce los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil de la maquinaria**.
- Esto supone una **ventaja significativa** sobre el cloro, que **deteriora el equipo y aumenta los costos operativos**.

---

## 7. Conclusión

El uso de cloro en el procesamiento avícola se vuelve cada vez más **insostenible** debido a su **eficacia limitada, los riesgos para la salud y su impacto negativo en la calidad de la carne**.

En contraste, **Bio-G-Active** ofrece una alternativa **segura, efectiva y respetuosa con el medio ambiente**, abordando todas las deficiencias del cloro.

A medida que las **regulaciones evolucionan** y la **demanda de los consumidores por productos alimentarios más seguros aumenta**, **Bio-G-Active está en camino de convertirse en la solución preferida** para garantizar la **seguridad microbiológica** en el procesamiento avícola, sin los inconvenientes asociados a los métodos tradicionales basados en cloro.

---

### BGA Dictum GmbH

Mommstraße 7  
10629 Berlin / Germany  
+49 (0)30 8442891  
post@bga-dictum.com  
www.bga-dictum.com