

# 9. Limpieza y desinfección de la planta

## 9.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Una higienización eficaz comprende dos aspectos complementarios tan importantes el uno como el otro: limpieza y desinfección.

Higienización = Limpieza + desinfección

Una higienización efectuada correctamente debe conducir a la eliminación completa, tanto como sea posible, de los gérmenes microbianos presentes tanto en superficies como en la atmósfera de los locales de trabajo y en los equipos más concretamente.

Se ha de precisar que, salvo circunstancias excepcionales, el objetivo no es la eliminación total de los gérmenes presentes, no es la esterilización del material y los equipos con los que se trabaja en la industria alimentaria.

Desinfectar sin efectuar previamente una limpieza es:

- No eliminar los focos de contaminación.
- Dejar sobre las superficies de los materiales que forman los equipos un medio de cultivo favorable a nuevas proliferaciones.
- Dejar al abrigo de los desinfectantes colonias microbianas incluidas en los restos de suciedad.
- Llevar a cabo una limpieza sin una posterior desinfección lo más cuidadosa posible, es dejar un residual de microorganismos vivos que fácilmente se multiplican.

Así pues, se definen los siguientes conceptos:

- Limpieza: Acción limpiadora ejercida por un detergente constituido por uno o varios componentes de acción tensioactiva. Microbiológicamente hablando, es una desinfección parcial por arrastre de los microorganismos y eliminación de capas de suciedad y materia orgánica.
- Desinfección: Destrucción de formas vegetativas de los microorganismos patógenos y no patógenos, pero no necesariamente de las formas resistentes a esporas.
- Esterilización: Eliminación total de los microorganismos patógenos y no patógenos, incluyendo especies formadoras de esporas. Este término no está homologado según la norma francesa NF T 72-101 de AFNOR donde se exponen los términos utilizados en lo concerniente a los antisépticos y desinfectantes. Al igual ocurre con el término asepsia (85).
- Higienización (sanitización): Reducción de la población microbiana, a niveles que se juzgan no perjudiciales para la salud.

Una operación de limpieza y desinfección es sinónimo de una operación de higienización o sanitización en cuanto a la efectividad microbiológica, y comprenderá en su ejecución sobre los equipos necesariamente dos fases sucesivas:

1. Limpieza: aplicación de un detergente.
2. Desinfección: Aplicación de un desinfectante (16, 27, 28).

Cabe decir que muchos autores al hablar del tema de la limpieza y desinfección, utilizan la palabra «detersión o lavado» para referirse al concepto explicado de «limpieza».

Las operaciones de limpieza y desinfección, son dos operaciones distintas, aunque complementarias, que pueden realizarse conjuntamente, consecutivamente o bien independientemente (29).

## 9.2. IMPORTANCIA DE LA LIMPIEZA

En la industria alimentaria la limpieza es un procedimiento fundamental que debe ser efectuado con precisión, para que no resulte totalmente ineficaz (25).

El propósito de la limpieza es la eliminación de restos de alimentos que quedan sobre las superficies, los cuales sirven de sustrato para el desarrollo microbiano y además inhiben la acción de los desinfectantes que pueden ser inactivados por la materia orgánica, impidiendo de este modo su función (1).

Limpieza y desinfección son dos conceptos diferentes, pero muy relacionados, de forma que sin una buena limpieza no puede haber una desinfección adecuada (figura 9.1) (24).

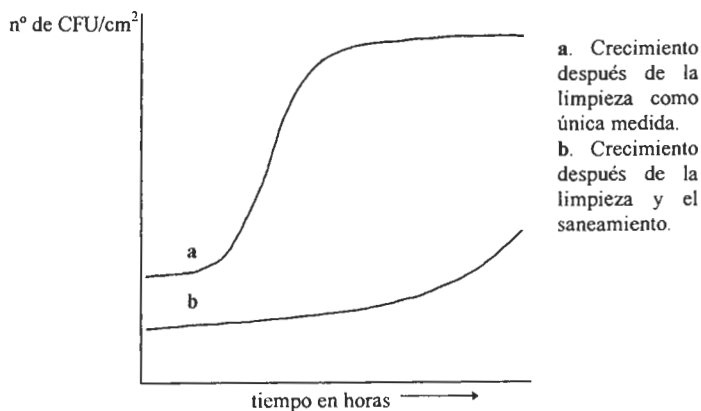


Fig. 9.1. El crecimiento bacteriano sobre superficies sólidas (24)

La experiencia enseña que no es posible llevar a cabo una limpieza y desinfección combinada (simultánea) de las suciedades grasas y proteicas propias de la industria cárnica en condiciones aceptables desde el punto de vista económico. Estudios realizados sobre la acción desinfectante frente a suciedades de distinta intensidad documentan la situación (figura 9.2) (26).

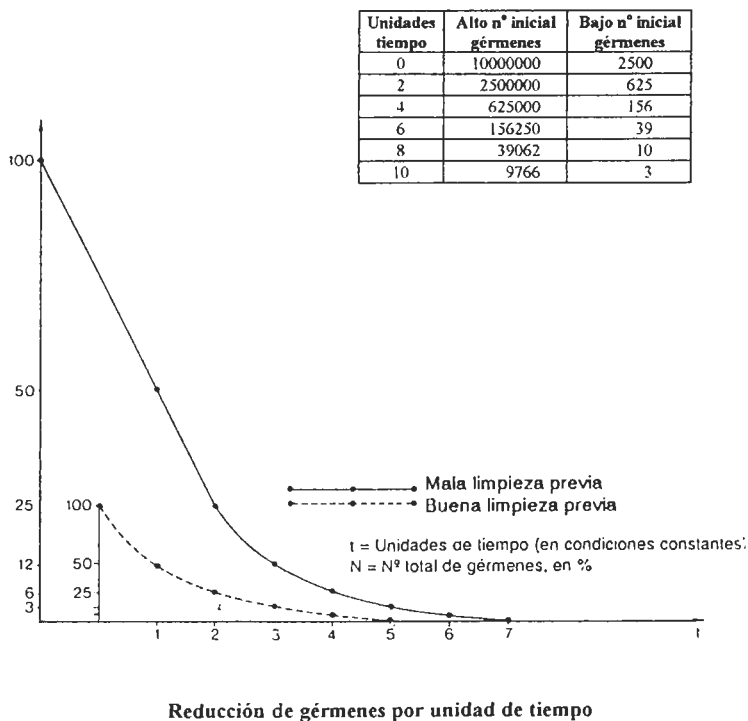


Fig. 9.2. Influencia de la intensidad de limpieza previa sobre la acción desinfectante (26)

### 9.3. EL PROBLEMA DE LA LIMPIEZA

Cabe decir que no hay una única solución al problema de la limpieza (16).

Es necesario subrayar que las diferentes propuestas a la resolución del problema planteado radica en una serie de diferencias a nivel de:

#### 1. Materia prima

- Contenido en agua
- Composición química, azúcares, grasas, albuminoides, sales minerales: proporción.

- Estado de presentación: sólidos, líquidos, emulsiones, soluciones, suspensiones, coloides...
2. Técnicas de fabricación y características del equipo.
  3. Composición y acondicionamiento de los productos acabados.
  4. Características de los residuos generados.

No obstante, muchas industrias alimentarias comparten una serie de características comunes respecto de la limpieza, como son:

- Muchas utilizan como materia prima productos orgánicos de origen animal.
- Dichos productos constituyen todos, sin excepción, un medio de elección para el desarrollo de innumerables variedades de gérmenes microbianos que pueden o no ser nocivos y/o producir o no alteraciones en los alimentos.
- El objetivo principal de la IA (industria alimentaria) es tratar o transformar la materia prima. Frecuentemente la materia prima está poblada de organismos microbianos. Esta población, más o menos abundante, es incontrolable cualitativamente.
- Durante la fabricación, las IA han de adueñarse de la coyuntura microbiana del proceso. Para ello es indispensable que a la flora microbiana inicial no se sume una flora microbiana indeseable proliferación y/o contaminación debidas a malas condiciones de trabajo imperantes en las fábricas (12, 26, 16).

## **9.4. OBJETIVOS DE UNA HIGIENIZACIÓN PERFECTA**

Atendiendo a los puntos 2.2 y 4.1, así como a lo dicho a partir del punto 6, se derivan los objetivos a los que atiende una higienización perfecta:

1. Eliminar los residuos visibles de una fabricación.
2. Eliminar las películas adhesivas de las paredes de los materiales.
3. Destruir la flora microbiana presente en los equipos hasta niveles no perjudiciales para la salud.
4. Respetar la integridad de las superficies a limpiar.
5. Eliminar cualquier rastro de los productos químicos empleados.

La polución microbiana que se encuentra sobre el material de las fábricas alimentarias es de gran diversidad (5).

Los gérmenes microbianos que podemos encontrar sobre las paredes del material de la IA los podemos clasificar en función de la resistencia a los antisépticos:

1. Gérmenes patógenos
  - Es evidente que su eliminación total es indispensable.
  - Felizmente no son los más importantes numéricamente.
  - Son bastante sensibles a la acción del calor, desinfectantes y variaciones de pH del medio.

2. Gérmenes banales (para la salud).
  - También son sensibles a la acción del calor, desinfectantes y variaciones del pH.
3. Gérmenes termorresistentes.
  - Difíciles de destruir por el calor pues vegetan todavía a 80-90 °C.
  - Son sensibles a los antisépticos.
4. Gérmenes esporulados.
5. Resistentes a los antisépticos.
  - Sólo destruibles en autoclave a 120 °C/30'.

El conjunto de técnicas de limpieza ejecutadas por la industria alimentaria tienen poca eficacia práctica sobre cepas esporuladas, por lo que su uso cotidiano conduce a la selección de los gérmenes esporulados (16).

Pocos son los germicidas que actúan con seguridad contra esporas (formol; alcohol; aldehído glutáico; B-propiolactona; ácido paracético), lo hacen siempre en concentraciones altas y necesitan horas para completar su acción (25).

## 9.5. PRINCIPIOS DE LIMPIEZA

En el caso de la limpieza, el tipo de unión entre la suciedad y el sustrato es el punto fundamental a considerar. Esta unión es debida a fenómenos mal conocidos de adhesión, acciones electrostáticas o a fenómenos de adsorción en capas múltiples.

La cinética de eliminación de la suciedad por una solución detergente ha sido estudiada por numerosos autores, comprobándose que, dentro de ciertos límites, la eliminación de la suciedad se comporta como una reacción de primer orden, que se puede representar de la forma siguiente:

$$\text{Log } M_0/M_t = K t$$

$M_0$ : Masa de suciedad por unidad de superficie en el momento (to).

$M_t$ : Masa de suciedad por unidad de superficie al cabo de un tiempo (t) de iniciada la limpieza.

$K$ : Coeficiente de limpieza.

$t$ : Tiempo de limpieza (29).

Traducido a un gráfico quiere decir que al colocar el logaritmo de la concentración de la suciedad por unidad de superficie (m) y en abscisas el tiempo (t), se obtiene para una situación ideal, una línea recta, cuya inclinación depende de las circunstancias en la que la operación de limpieza haya sido efectuada.

Se reconoce como hecho que en la práctica la limpieza nunca es completa, aunque no sea visible por el ojo humano (30).

El ángulo de inclinación de la línea gráfica depende del coeficiente de limpieza (K) indicado en la fórmula.

El coeficiente de limpieza (K) es función de:

1. La naturaleza del soporte y de la suciedad (una superficie lisa es más fácil de limpiar que una rugosa; así como ciertos tipos de suciedad son más fáciles de eliminar que otros).
2. Naturaleza y concentración del detergente (figura 9.3).
3. La temperatura (la reacción del proceso de limpieza posee un coeficiente de temperatura cercano a 2, o sea cada 10 grados de incremento de temperatura aumentan la velocidad del proceso de limpieza al doble).
4. La acción mecánica. Jenings ha comprobado que la acción mecánica es especialmente importante cuando el número de Reynolds es superior a 25000. Por encima de este valor el coeficiente de limpieza varía con el logaritmo del número de Reynolds. La acción mecánica puede ser desfavorable al impedir el contacto entre la solución y la superficie a limpiar. La acción de la espuma puede ser favorable cuando el aire se halla dispersado en la solución en movimiento, pues mejora la acción abrasiva. Esta acción abrasiva puede verse aumentada, cuando la instalación lo permite, mediante el empleo de materiales sólidos abrasivos (cepillos, bolas de caucho, etc.).

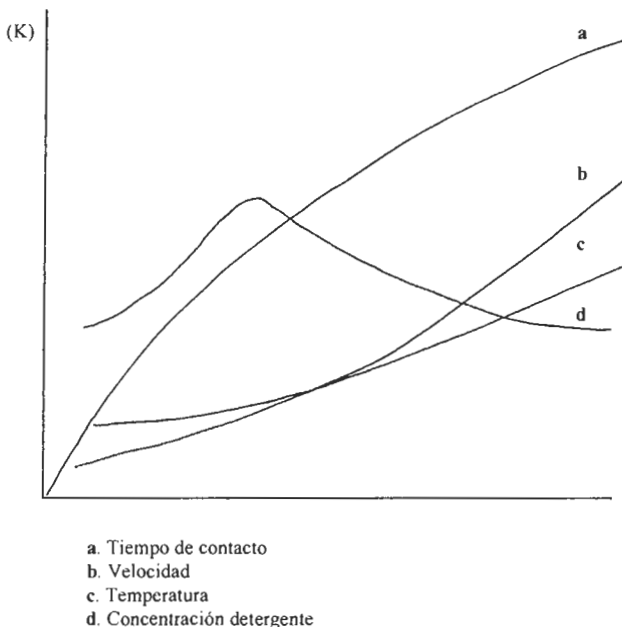


Fig. 9.3. Parámetros influyentes sobre el coeficiente de limpieza (K) (29)

Hay que hacer constar que la ecuación dada para el proceso de limpieza solo se cumple dentro de ciertos límites. Muchas veces se observa que al principio, la eliminación de la suciedad es más rápida de lo previsto teóricamente y que el coeficiente de limpieza desciende al final de la operación. Ello probablemente es debido a que, al principio, la suciedad se halla unida a otra capa de suciedad, mientras que al final se deben romper las fuerzas de unión entre la suciedad y el soporte (29).

## 9.6. PRINCIPIOS DE LA DESINFECCIÓN

La dinámica de la desinfección al igual que la esterilización consideran el índice de letalidad de los microorganismos. La información referida a la cinética de la destrucción de una población bacteriana es esencial para comprender las bases de la desinfección por agentes letales. Para los microorganismos el único criterio válido de muerte es la pérdida irreversible de la capacidad de reproducirse. Esto, en general, está determinado por técnicas de siembra en placas que cuantifican, por medio del recuento de colonias, el número de sobrevivientes.

Cuando se expone una población bacteriana a un agente letal, con el tiempo tiene lugar una reducción progresiva en el número de sobrevivientes. La cinética de la destrucción de una población microbiana suele ser exponencial: El número de sobrevivientes disminuye en función del tiempo (30). Si el logaritmo del número de sobrevivientes se representa como una función del tiempo de exposición, se obtiene una línea recta (figura 9.4) cuya pendiente negativa define la velocidad de destrucción. Sin embargo, el índice germicida sólo nos dice qué fracción de la población inicial sobrevive a un período determinado de exposición al agente antimicrobiano (45).

Para determinar el número real de sobrevivientes es necesario conocer el tamaño inicial de la población.

Esta relación se expresa de forma matemática por la fórmula de primer orden:

$$\text{Log } N_0/N_t = -Kq t$$

donde  $N_0$  es la concentración inicial de microorganismos,  $N_t$  es la concentración final de microorganismos,  $Kq$  es el coeficiente de destrucción químico y  $t$  es el tiempo (figura 9.4) (45).

El coeficiente de destrucción químico es función del tipo de microorganismo, de la naturaleza y concentración del agente bactericida y de la temperatura y naturaleza del medio.

La acción microbicida de los desinfectantes puede ser debida a diversos fenómenos, según las diferentes sustancias: modificación de la permeabilidad de la membrana celular o bien ruptura de ésta; acción sobre ciertos enzimas o determinadas proteínas celulares; oxidación, reducción o hidrólisis de componentes celulares; competencia de substratos esenciales del metabolismo; etc.

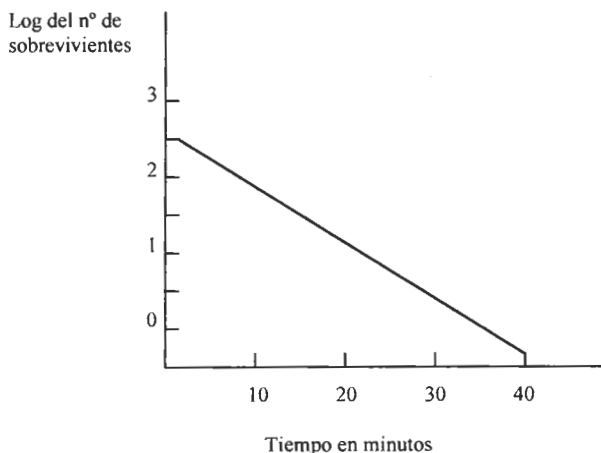


Fig. 9.4. Velocidad de destrucción de *Escherichia coli* cuando se expone a fenol al 0,5% a 20 °C. (De Chick: *J Hyg (Camb)* 10:237, 1910) (45)

Algunas de estas acciones no son selectivas; el cloro, por ejemplo, reacciona con la misma facilidad con moléculas oxidables presentes en células vivas que inertes. Ello implica que la concentración en el medio de determinados agentes bactericidas disminuya con el tiempo, implicando una disminución de la capacidad de destrucción de microorganismos. Esta es una de las razones por las cuales la eficacia de un desinfectante es mucho mayor en las superficies previamente limpiadas (30).

La desinfección en el interior de precipitados, materiales porosos, intersticios, juntas, grifos, etc. no es posible mediante el empleo de sustancias fuertemente reactivas, como los halógenos, dado que su acción queda reducida a la superficie, pues su concentración decrece rápidamente hacia el interior, quedando por debajo de los valores letales.

La naturaleza de la superficie juega un papel fundamental. En las mismas condiciones, un agente bactericida induce en la flora microbiana una reducción de 6 unidades logarítmicas sobre una superficie de acero inoxidable pulido, mientras que la reducción no es de más de 2 ó 3 unidades logarítmicas sobre una superficie de aluminio o de plástico (29).

## 9.7. FASES DE LA HIGIENIZACIÓN

El uso de protocolos adecuados para la realización de las operaciones de limpieza y desinfección en las industrias alimentarias tiene una gran importancia, ya que se ha evaluado que en cerca de un 30% de los brotes declarados de toxoinfecciones con origen alimentario, uno de los factores responsables es la contaminación del equipamiento (31, 88, 89).



El proceso de L+D debe realizarse de una forma ordenada para conseguir un buen resultado de limpieza y desinfección en un tiempo razonable, por ello, a la hora de realizar dicho proceso, es preciso llevar a cabo varias fases:

1. *Acondicionamiento en seco de las zonas a higienizar.*

Tras el proceso de producción quedan esparcidos por la sección restos de materia orgánica, embalajes, etc., que es necesario retirar, utilizando cepillo y pala, antes de comenzar las fases siguientes.

Se debe ordenar la herramienta, útiles, recipientes, etc., que rodean los equipos para, de esta manera, evitar contaminaciones cruzadas (33).

Para realizar la correcta higienización de algunas máquinas es preciso desmontarlas (32).

En las secciones que está indicado realizar una limpieza húmeda con mangueras de agua hay máquinas o partes de ellas que son sensibles a la humedad y al agua, son partes que requieren una limpieza en seco, por ello es preciso protegerlas con materiales impermeables y evitar en la medida de lo posible salpicarlas para posteriormente realizar sobre ellas una limpieza manual semihúmeda o en seco.

Deben retirarse los productos alimenticios de las secciones en que se vaya a realizar el proceso de L+D.

2. *Prelavado.*

Los restos de materia orgánica que quedan sobre los equipos, tras la recogida grosera con cepillo y pala, deben ser arrastrados mediante proyección de agua a baja presión o presión de red; utilizar uno u otro sistema estará en función de la cantidad y tipo de materia orgánica existente sobre las partes que se quieran limpiar y del caudal de agua disponible en ambas redes.

En esta fase conviene dejar las superficies con la menor cantidad de materia orgánica posible para que en la siguiente fase los detergentes actúen correctamente y, en el aclarado de los mismos, no se produzcan muchas salpicaduras de materia orgánica de unas partes a otras.

Cuando el residuo dominante en la industria alimentaria sea grasa y proteínas, tendremos que utilizar el agua a una temperatura mayor de 35-40 °C para que solubilice las grasas, y menor de 60 °C ya que a esta temperatura coagularía las proteínas haciendo más difícil su arrastre (7).

3. *Proyección de detergente, cepillado y aclarado.*

Tras el prelavado queda adherida a las superficies una pequeña cantidad de materias residuales que deben ser disueltas con los detergentes para su arrastre.

En algunos casos, en función de la temperatura del agua y la concentración de los detergentes, es preciso ejercer una acción mecánica para la eliminación de dichos restos de las superficies. Ha sido una práctica muy frecuente ejercer esa acción mecánica durante el aclarado, utilizando para ello máquinas de alta presión; con este sistema se producía una destrucción de las partes más sensibles de las máquinas, además de una excesiva pulverización del agua y, por tanto de condensaciones, humedad en el ambiente y contaminación muy alta. Actualmente, utilizando los detergentes de la forma adecuada, prolongando su

tiempo de acción con la utilización de los mismos en forma de espuma, se consigue en la mayor parte de las instalaciones eliminar la suciedad incrustada utilizando para el aclarado agua a baja presión (20 a 30 Kg./cm<sup>2</sup>). No obstante, tanto con los sistemas de baja como los de alta presión queda una pequeña parte de las superficies que para su correcta higienización es necesario ejercer una acción mecánica adicional mediante cepillos, etc.

En el aclarado debe arrastrarse toda la suciedad sin que queden restos de detergentes que puedan entrar en contacto con los alimentos en el siguiente proceso de producción (33, 35).

En el aclarado, cuando se usa agua a presión, debe prestarse atención a la forma de salida del chorro de agua y la inclinación de éste con respecto a la superficie. Los mejores resultados se obtienen con una inclinación de 20 a 27 °C, ya que así se consigue una mayor fuerza de impacto sobre la suciedad con un máximo de arranque, sin llegar a alterar la superficie ni proyectar residuos al ambiente (34).

#### 4. *Desinfección y aclarados finales.*

Tras la limpieza físico-química quedan en las superficies gérmenes. Es en esta fase donde tiene lugar la desinfección, tras la cual hay que dejar un período de tiempo determinado para que los desinfectantes actúen; la duración de este período de tiempo estará en función del tipo de desinfectante, de la concentración del mismo, de la temperatura y de la forma de aplicación. Una vez transcurrido este tiempo es preciso aclarar las superficies para evitar que los desinfectantes entren en contacto con los alimentos o productos alimentarios.

Existen en el mercado algunos detergentes que llevan incorporada cierta cantidad de desinfectante; la función principal de esta base desinfectante suele ser potenciar la acción limpiadora, ya que, aunque la concentración en algunos de ellos sería suficiente para desinfectar correctamente superficies sucias de materia orgánica lo inactiva y, por tanto, no es suficiente para conseguir un grado de desinfección adecuado en aquellas secciones que se requiere un grado de desinfección alto.

No obstante, de esta manera, podrían solaparse las primeras fases de limpieza y desinfección quedando así una sola fase.

Hoy en día, no se han desarrollado aún protocolos prácticos de ensayo de manera normalizada, lo cual es un inconveniente a la hora de tratar de estudiar de manera práctica la eficacia de un desinfectante o el diseño de equipo. Por ello, actualmente se está desarrollando el proyecto AAIR, en el que se pretende el desarrollo de protocolos prácticos de ensayo para la evaluación de la facilidad o dificultad de los procesos de limpieza en la maquinaria y los bienes de equipo dedicados a la producción de alimentos. Los métodos que se desarrollen bajo este proyecto, en caso de ser adecuados, serán sometidos al estudio del Comité Europeo de Normalización para que, si procede, sean considerados como normas europeas para la evaluación del diseño higiénico de la maquinaria y el equipo a utilizar en la industria alimentaria, de acuerdo con la Directiva 89/392/CEE sobre Seguridad de la maquinaria (65).

Es necesario estudiar el tipo de desinfectante a utilizar, ya que cada uno tiene un espectro de acción y unas características diferentes. Para realizar una desinfección eficaz se debe utilizar desinfectantes de amplio espectro que actúen tanto sobre los gérmenes Gram + como Gram -, aunque se utilicen este tipo de desinfectantes periódicamente para evitar posibles resistencias o proliferación de un grupo determinado de gérmenes (33).

## **9.8. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ELECCIÓN DE UN PRODUCTO HIGIENIZANTE**

El tipo de detergente a utilizar está en función del tipo de suciedad que exista en las superficies a higienizar, la naturaleza del material sobre las que se depositan dichos restos y del sistema de aplicación de los detergentes.

La concentración de detergente está en función de la naturaleza de los residuos, de la cantidad de residuo acumulado, del grado de incrustación del residuo, de la temperatura del agua con la que apliquemos el detergente y con la que los aclaremos, de la acción mecánica a realizar, del tipo del material que necesitemos limpiar y de la forma de aplicación de los detergentes sobre las superficies (7, 101).

### **9.8.1. NATURALEZA DE LA SUPERFICIE A TRATAR**

Las superficies en contacto con los alimentos deben ser atóxicas e inabsorbentes, no porosas y no corrosivas. De los varios materiales utilizados, el acero inoxidable es el que más conviene para las superficies que entran en contacto con los alimentos, como son los equipos.

El acero inoxidable no es un simple metal sino un grupo de aleaciones de hierro y cromo, níquel, carbono, molibdeno, titanio, silicio, fósforo, manganeso y azufre.

El acero inoxidable es resistente a la corrosión aunque no está totalmente exento a sus efectos. En su superficie se forma una película de óxido de cromo autopreservante. Si se destruye esta película, por ejemplo, cuando se limpia la superficie, la película se reforma por simple contacto con el aire. Pero si se utiliza en la limpieza un material abrasivo, la superficie quedará rayada, facilitándose así la corrosión. El empleo de productos químicos cáusticos producirá picado de la superficie; en ambos casos la limpieza y la desinfección del equipo resultan dificultadas (9).

En la industria alimentaria una fórmula del acero inoxidable muy utilizada es la que contiene del 14% al 18% de cromo y del 7% al 9% de níquel (37).

Los numerosos ensayos de contaminación metálica de productos orgánicos o de alimentos realizados con aceros inoxidables muestran que este tipo de aceros son difícilmente atacables (36, 99).

Un aspecto importante a tener en cuenta es el pulido del material o superficie a tratar ya que es indispensable para conseguir una buena resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza.

No hay ninguna composición de acero inoxidable que resista todos los ataques corrosivos, de tal forma que dependiendo del tipo de acero de los equipos se verá facilitado un tipo u otro de corrosión.

Se pueden distinguir diversos tipos de corrosión que pueden afectar al acero inoxidable: corrosión general, intergranular, galvánica, por fisuras bajo presiones mecánicas y corrosión «por picaduras». En esta última, la formación de cráteres localizados en algunos puntos resulta favorecida por suciedades o depósitos minerales adheridos a la superficie metálica y por acción del cloro, oxígeno, iones cloruro e iones hidrógeno. Por lo tanto hay que evitar el contacto prolongado (más de media hora) con soluciones que contengan más de 200 mg de cloro residual por litro y, sobre todo en presencia de aire, el contacto con ácido clorhídrico y con soluciones, ácidas o alcalinas de cloruros de sodio o calcio. Los aceros inoxidables resisten bien la sosa y los detergentes alcalinos, lo que unido al pulido de su superficie permite un buen mantenimiento y ayuda a luchar contra la corrosión (14).

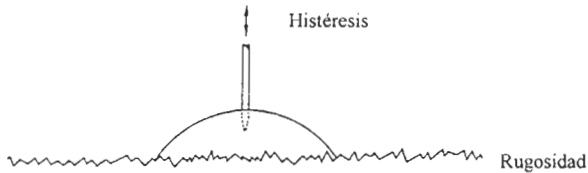
En la industria alimentaria el desarrollo de la suciedad en las superficies depende principalmente del material y de las asperezas en estas superficies, ambas influyen enormemente sobre la adhesión de la suciedad y sobre el sistema de limpieza (37, 100).

Investigaciones recientes demuestran la importancia de los fenómenos de adhesión microbiana a las superficies y la formación de biofilms que pueden proporcionar un alto grado de protección frente a la mayoría de desinfectantes químicos habitualmente empleados, así como a la temperatura. Este fenómeno, debido a la existencia de capas más superficiales de bacterias que actúan como barreras de protección o bien a la síntesis de sustancias en esta capa exterior que neutralizan la sustancia desinfectante, se ha estudiado en muchos microorganismos de riesgo, especialmente *L. monocytogenes*, *Ps. aeruginosa*. La eliminación de estas colonias adheridas a superficies lisas y pulidas puede realizarse mediante una limpieza profunda y la desinfección posterior destruirá los gérmenes que hayan quedado. En cambio, las superficies rugosas, agrietadas u oxidadas, ofrecen un ambiente óptimo para la formación de estos biofilms que serán prácticamente imposibles de eliminar (6).

#### 9.8.1.1. Adhesión de residuos sobre la superficie

Es sabido que hay una relación entre la adherencia de los residuos sobre la superficie y la tensión superficial crítica de los sólidos.

Esta puede ser calculada a partir del ángulo de mojado; esta medida es, sin embargo, considerada imprecisa a causa de la rugosidad de la superficie y, seguida de fenómenos de histéresis, el ángulo varía cuando aumenta o disminuye el volumen de la gota (figura 9.5) (38).



La tensión superficial crítica de un sólido se define como la tensión superficial de la mezcla agua-alcohol o alcohol-octano encima de la cual la mezcla no moja el sólido. (Ángulo de contacto = 0).

Fig. 9.5. Representación de una gota de agua sobre una superficie rugosa (38)

### 9.8.1.2. Adhesión de las bacterias sobre la superficie

Los productos de limpieza o desinfectantes pueden modificar las propiedades de superficie del material y, en consecuencia, la adhesión bacteriana a las superficies.

Diversos estudios sobre las superficies poliméricas han puesto de manifiesto la existencia de una relación entre el número de microorganismos adherentes y la energía de superficie del sólido (39).

Sobre las superficies de aceros inoxidables, son la relación entre las fuerzas de London-Van der Waals y las interacciones ácido-básicas las que gobiernan la adhesión bacteriana (40).

Para reducir la adhesión microbiana y optimizar las operaciones de limpieza y desinfección, es necesario determinar los factores influyentes sobre la adhesión (39).

#### 9.8.1.2.1. ETAPAS DE LA ADHESIÓN

Hay tres etapas en el mecanismo de adhesión:

##### 1. Etapa primera.

La inmovilización de una primera unión de microorganismos es un fenómeno puramente físico, caracterizado por ser extraordinariamente rápido y reversible. En ciertas ocasiones, por ejemplo, responde a una ligera agitación mecánica. El modelo que explica esta primera etapa es la teoría D.L.V.O (Derjaguin et Landau 1941, Verwey ey Overbeek 1948), según la cual los microorganismos se ven sometidos a diferentes tipos de interacciones (electrostáticas y electrodinámicas).

Cuando los microorganismos y superficie sólida son cargados negativamente, la adhesión es la resultante de las fuerzas de atracción y repulsión como muestra la figura 9.6. El mínimo secundario corresponde a una adhesión reversible de las bacterias, mientras que el mínimo primario corresponde a una adhesión irreversible.

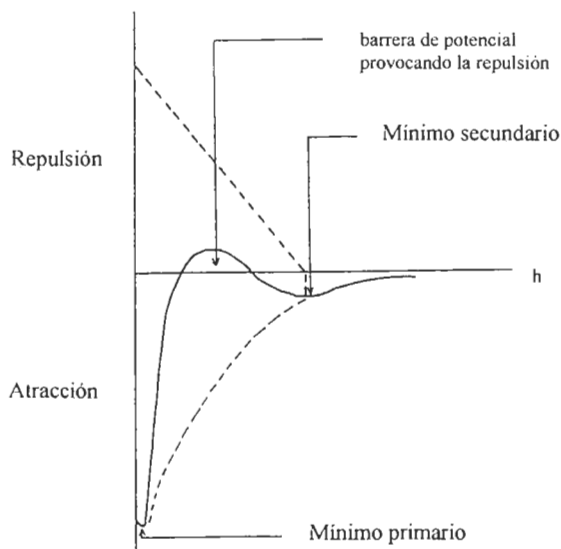


Fig. 9.6. Representación de las fuerzas influyentes sobre la adhesión entre microorganismos y superficie (41)

## 2. Etapa segunda.

La «consolidación» de la posición de microorganismos sobre la superficie receptiva lleva a la producción por parte de los microorganismos de macromoléculas como los poliósidos, constituyendo las cápsulas llamadas glicocalix o glicolemas, que se adhieren a la superficie sólida. Esta etapa depende del tiempo de contacto.

## 3. Etapa tercera.

La colonización de la superficie resulta de la multiplicación de los microorganismos. Se llega a formar así un biofilm. Este ofrece una protección frente a un gran número de agresiones, por ejemplo los desinfectantes (41).

### 9.8.1.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA ADHESIÓN

#### 9.8.1.2.2.1. Factores ligados a los microorganismos

- Organismos celulares.

Los microorganismos inmovilizados en el mínimo secundario (adhesión reversible) podrán adherirse de manera irreversible por medio de pili, flagelos, etc. Estas estructuras de pequeño diámetro (0,05 a 0,1 micrómetros) son capaces de posicionarse en el mínimo primario porque la barrera repulsiva es para ellos muy débil.

- Propiedades físico-químicas de superficie del microorganismo.

A parte del tipo de organismo celular del que se trate, hay que considerar las propiedades físico-químicas de superficie del microorganismo. Estas son las

constituidas por la propia célula (grupos carboxilos, fosfatos, proteínas, etc.) así como su metabolismo que confiere a los microorganismos sus propiedades eléctricas (en general carga negativa, punto de carga nula —o punto isoeléctrico— a pH ácido) así como su carácter hidrófobo o hidrófilo. La modificación de las propiedades por adsorción de moléculas juega gran importancia en el fenómeno de adhesión (40, 41).

#### 9.8.1.2.2.2. Factores ligados a la superficie del sólido

- Propiedades físico-químicas.

Carga y propiedades hidrófilas o hidrófobas del sólido juegan un papel clave en los procesos de adhesión. Así por ejemplo, un microorganismo hidrófilo se adhiere mucho a un soporte hidrófilo e inversamente un microorganismo hidrófobo a un soporte hidrófobo. Para disminuir o de lo contrario favorecer la adhesión, es conveniente pues modificar las características del sólido. Estas modificaciones pueden ser aportadas de diversas maneras por el medio circundante:

— Adsorción de cationes como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , etc. Su presencia favorecen la adhesión aunque su ausencia o su eliminación pueden en algunos casos interrumpir la adhesión.

— Adsorción de residuos de productos utilizados en la limpieza y desinfección.

— Modificación química en superficie, debida en muchos casos a la acción de los productos que contactan con la superficie; o a los productos de limpieza y desinfección.

— Reordenamiento conformacional de las moléculas superficiales (39, 41).

- Rugosidad.

Además del carácter hidrófobo o hidrófilo, la rugosidad juega un papel importante en la adhesión. Así mismo las cavidades y relieves debidos a la rugosidad y su aspereza hacen aumentar la superficie de contacto y proteger los microorganismos de las fuerzas de cizallamiento (38, 39, 40).

#### 9.8.1.2.2.3. Factores ligados a las condiciones de lavado

Para poder adherirse, los microorganismos deben ser llevados a la proximidad de la superficie. El lavado turbulento, al favorecer los «impactos» superficie-microorganismos, favorece la adhesión, contrariamente al lavado laminar (41).

## 9.8.2. TIPO DE RESIDUO A ELIMINAR

### 9.8.2.1. Industria cárnica

Los restos de carne, grasa y aditivos utilizados en la elaboración de productos cárnicos que quedan adheridos a las máquinas dejan de ser productos alimenticios cuando, acabado ya el proceso, solo son restos de materias impuras, y un rico medio para los microorganismos que pueden ser contaminados por las toxinas bacterianas (44).

Los músculos que constituyen la carne contienen aproximadamente un 75% de agua en la que hay disueltos una gran variedad de importantes substratos de crecimiento y de otros micronutrientes (tabla 9.1) los cuales formarán parte de los residuos a eliminar (43).

**Tabla 9.1. Composición aproximada de la musculatura de mamíferos adultos después del rigor mortis (a) (43)**

Componentes	%	Peso húmedo
Agua		75
Proteínas		
Conectivo estructural	2,0	
Miofibrilar	11,5	19
Sarcoplásmica	5,5	
Grasa		2,5
Carbohidratos		
Glucógeno	0,1	
Glucosa + fosfatos	0,2	1,2 (b)
Ácido láctico	0,9	
Sustancias solubles diversas		
Nitrogenadas: Aminoácidos	0,35	
Creatina	0,55	1,65
Ingredientes menores	0,75	
Inorgánicas: K	0,35	
P	0,2	0,65
Otras	0,1	
Vitaminas: La mayoría del grupo B presentes en cantidades utilizables		

(a) Basada en Lawrie (1975)

(b) Variable hasta casi inexistente

Bajo la influencia de la fermentación o putrefacción microbiana o de la autólisis se podrían presentar serios problemas en la próxima producción con la posibilidad de intoxicaciones alimentarias y alteración de características.

Para la eliminación de restos durante el proceso de limpieza podemos considerar dos grupos diferentes, a tener en cuenta según medios a utilizar: los solubles en agua como los azúcares, sales, etc., y los insolubles en agua como aceites, grasas animales, etc. (37).

Dicho de otro modo, en general, se puede clasificar la suciedad según su solubilidad en las soluciones detergentes: sustancias orgánicas (grasa, proteínas, etc.) en medio alcalino o neutro y sustancias inorgánicas (incrustaciones minerales, óxido de hierro, etc.) con medio ácido (6).

En la industria cárnica, en el caso de las picadoras, amasadoras, trituradoras, embudadoras, cutters y otras máquinas de elaborados se hallan sucias de restos de carne y grasa embarrada. Antes de realizar el enjuague inicial, deben ser desmontadas al máximo para poder realizar una profunda limpieza sin dejar residuos en los rincones. En este caso, se aconseja el uso de detergentes alcalinos con disolventes que faciliten el desengrase de las superficies (24).



En la tabla 9.2 se muestra la relación entre el tipo de suciedad y las características que presentan en la higienización (10).

Tabla 9.2 (10)

	<b>Solubilidad</b>	<b>Facultad de eliminación</b>	<b>Método de eliminación</b>	<b>A evitar</b>
<b>Materias grasas</b>	Insolubles en agua y en las soluciones alcalinas y ácidas.	Fácil en presencia de tensioactivos y a temperatura de liquefacción.	Saponificación emulsión.	Polimerización por calor y oxidación.
<b>Proteínas</b>	Poco solubles en agua. Ligeramente solubles en solución alcalina.	Relativamente fácil.	Oxidación.	Precipitación, coagulación, carbonización, desecamiento.
<b>Glúcidos</b>	Solubles en agua.	Fácil.	Solubilización.	Caramelización.

### 9.8.2.2. Industria láctea

Los principales compuestos residuales característicos de la industria láctea son: lactosa, materia grasa, proteínas y sales minerales. Cada tipo de compuesto requiere su particular consideración para lograr una correcta eliminación de los mismos. Dichas consideraciones se detallan en la tabla 9.3.

Tabla 9.3 (108)

<b>Compuesto residual</b>	<b>Solubilidad</b>	<b>Facultad de eliminación sin transformación debido al calentamiento</b>	<b>Transformación debido al calentamiento</b>
<b>Lactosa</b>	Soluble en agua.	Fácil.	Caramelización: más difícil de limpiar.
<b>Materia grasa</b>	Poco soluble en agua, en soluciones alcalinas y ácidas y en ausencia de sustancias tensio-activas.	Fácil en presencia de sustancias tensio-activas.	Polimerización: más difícil de limpiar.
<b>Proteína</b>	Poco soluble en agua. Ligeramente soluble en solución ácida, soluble en solución alcalina.	Difícil en agua, más fácil en soluciones alcalinas.	Desnaturalización: los depósitos de proteína desnaturalizados son difíciles de limpiar.
<b>Sales minerales</b>	Solubilidad en agua variable, pero la mayoría son solubles en soluciones ácidas.	Relativamente fácil.	Precipitación: difícil de limpiar.

### 9.8.2.3. Industria enológica

El tipo de residuos a eliminar que se pueden encontrar en este tipo de industria pueden proceder del mosto o del vino. Estos se clasifican en:

- Residuo mineral: Básicamente suele ser bitartrato potásico que precipita en el transcurso de la fermentación después del enfriamiento del vino.
- Residuo de origen orgánico: como consecuencia de la materia seca del mosto o el vino, o bien a los microorganismos. Se trata fundamentalmente de materia colorante, taninos, proteínas, ácidos orgánicos, glúcidos y microorganismos vivos o muertos (levaduras, bacterias lácticas y acéticas, hongos).
- Tierra procedente de la vendimia, que suele estar en forma de polvo o barro.
- Grasa y aceites procedentes de la maquinaria y aperos.

Los diferentes residuos que podemos encontrar y sus características principales a considerar para su eliminación se expresan a continuación:

- Soluble en agua: ácidos y azúcares, ...
- Hinchables en agua: almidón, proteínas.
- Emulsionables: grasas, lípidos.
- Insolubles: tierra, metales, celulosa, papel.
- Solubles en medio ácido: carbonato de calcio, ...
- Solubles en medio alcalino: tartratos (109).

### 9.8.3. MÉTODOS DE APLICACIÓN

Cabe decir que la elección de un producto higienizante tiene mucho que ver con la técnica o método de aplicación con el que se va a realizar.

Por regla general las limpiezas manuales imponen productos no agresivos para el manipulador, utilizables a baja concentración y que sean eficaces a baja temperatura.

Por otra parte, en el caso de la limpieza automática se admiten productos agresivos aunque no corrosivos para la superficie a tratar, utilizables a alta presión y en concentraciones elevadas (109).

Los métodos posibles a utilizar en la industria alimentaria son los siguientes:

- Cepillado.  
El cepillado puede realizarse de manera mecánica o manual. El manual es más adaptable al nivel de suciedad a eliminar, a lo adherida que ésta se encuentre y al tipo de superficie a tratar. Es muy importante en estos casos vigilar la conveniente protección de los operarios.

- **Aspersión.**

Suele utilizarse para tratar grandes superficies como es el caso del interior y exterior de los depósitos, paredes o suelos, ...

Es de vital importancia en este caso el control del tiempo de contacto del producto higienizante con la superficie tratada.

Se utilizan varios tipos de dispositivos para la aspersión. Estos son:

- distribuidor a baja presión (tipo bola, rampas, ...). Estos llegan a alcanzar una presión máxima de hasta 5 bares. Se suelen usar cuando la suciedad está poco adherida a la superficie.
- distribuidor de mediana presión.
- distribuidor de alta presión. Se usan cuando la suciedad está muy adherida a la superficie.

Con estos dispositivos se pueden utilizar soluciones a temperaturas frías, calientes o incluso vapor de agua.

- **Inmersión.**

La inmersión o remojado puede realizarse con o sin agitación según el caso. Se suele utilizar con materiales desmontables o móviles de pequeño tamaño.

- **Circulación.**

Se utiliza en todo tipo de circuitos cerrados como son las canalizaciones, tuberías y grifería. Se utiliza una bomba para hacer circular el fluido, cobrando gran importancia el conseguir un régimen turbulento ya que este está en relación directa con el grado de arrastre de la suciedad adherida a la superficie.

Debe hacerse circular el caudal en sentido inverso utilizado normalmente, de esta manera se consigue el arrastre de suciedad en zonas difíciles como son los codos y espacios muertos.

- **Espumante.**

Este método permite evitar la acción mecánica. Consiste en pulverizar la espuma sobre la superficie de un equipamiento, la cual, transcurrido un largo tiempo (hasta diez minutos), es eliminada mediante un aclarado perfectamente visible. Las características del producto utilizado son trivalentes, ya que está compuesto por un producto de limpieza, un desinfectante y un estabilizador de espuma.

- **Ultrasonidos.**

Se suelen utilizar en combinación con productos clorados, ya que se ha demostrado que aumenta la efectividad del método (144).

- **Nebulizante y fumigante.**

Estas técnicas son utilizadas para la desinfección de superficies abiertas (nebulización) o superficies cerradas (fumigación).

La desinfección de superficies por vía aérea consiste en la emisión al ambiente del producto desinfectante en forma de niebla con partículas de diámetros que varían entre 0,5 y 2 micras. Ello permite su dispersión y acceso incluso a las superficies más recónditas e inaccesibles. El reducido tamaño de las partículas

les permite prolongar su permanencia en el aire y también incrementa su trayectoria debido al movimiento browniano de las mismas.

Se utiliza el sistema de la microdifusión molecular y electrotérmica, para conseguir la niebla de partículas. Dicho sistema transforma el producto químico líquido en una niebla seca.

Se utilizan aparatos automáticos que facilitan cómodamente estos tratamientos en ausencia o presencia de personal.

Según el grado de desinfección pretendido se emplea un tipo u otro de producto desinfectante, pudiéndose, incluso, llegar a la esterilización. La microdifusión permite que el producto desinfectante emitido en forma de aerosol llegue, a través del aire, a todas aquellas zonas que no reciben tratamiento de forma regular y a las más inaccesibles, permaneciendo en ellas el tiempo necesario para ejercer su acción germicida y además de forma rápida y económica. (8, 109).

- Limpieza *in situ*.

También llamada «cleaning in place» (C.I.P.), consiste en una instalación específica para las labores de limpieza y desinfección. Se lleva a cabo una limpieza y desinfección sobre superficies en circuito cerrado. De esta manera, tiene lugar una circulación, distribución, aspersion y el almacenamiento de productos higienizantes (detergente y desinfectante) y agua sobre los materiales a tratar.

Este sistema está constituido por una central de limpieza.

Dicha central está constituida por:

- depósito de almacenamiento de productos higienizantes.
- depósito de recuperación del agua de aclarado.
- mecanismos de preparación de soluciones de limpieza y desinfección a partir de productos concentrados.
- bombas para la circulación en sentido ida y vuelta de los productos y del agua de aclarado.

Dicha central distribuye los productos de limpieza sobre el material a tratar. Esto lo puede hacer de manera automática (circuitos fijos) o manual (circuitos móviles) (109).

Este tipo de instalaciones permiten realizar con la máxima eficacia y al mínimo costo todas las operaciones de limpieza y desinfección de materiales, depósitos, aparatos de tratamientos, etc...

Las fases que tienen lugar en un ciclo de trabajo en una central de limpieza, por ejemplo para un tanque, son las siguientes:

1. Prelavado.
2. Lavado.
3. Aclarado.
4. Antiséptico.
5. Aclarado final.
6. Fin de limpieza.

Económicamente, se puede decir que se aprecia un ahorro debido al menor número de personal que se utiliza frente a otros sistemas de higienización, así como ahorro de producto debido a una mejor dosificación y a una posible recu-

peración del mismo. Y por último, de agua, ya que puede reducirse incluso a la mitad el gasto mediante la recuperación del agua del aclarado final y su reutilización para el prelavado del siguiente ciclo.

En definitiva podemos decir que este método ahorra tiempo, aumenta la rentabilidad de la instalación y mejora la calidad del trabajo realizado.

### 9.8.3.1. Industria cárnica

En la industria cárnica cobra gran interés la higienización de equipos.

El método de aplicación de los productos de higienización sobre los equipos es por lavado (7).

La aplicación de detergente en la limpieza de superficies y equipos puede realizarse de diversas formas:

- Manualmente por aspersión o baldeo.
- Por proyección con máquina de alta presión.
- Por proyección de espuma con sistemas de baja presión.

La limpieza manual tradicional es imprescindible en el lavado de maquinaria compleja, donde es necesario desmontar las diferentes piezas (6).

La presión del agua de lavado puede variar:

- Agua de red: 1 a 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Baja presión: 15 a 30 kg/cm<sup>2</sup>.
- Alta presión: 50 a 250 kg/cm<sup>2</sup> (7).

La limpieza con sistemas de alta presión se emplea en zonas muy sucias y/o de difícil acceso. En el caso de los equipos se reserva para aquellos en donde el lavado manual es complicado y prácticamente imposible de realizar.

La alta presión de agua utilizada tiene la característica de que la fuerza de impacto sobre un punto pulveriza partículas de suciedad en todas direcciones y nebuliza humedad al ambiente, vehículo de gérmenes que se depositarán nuevamente en el transcurso de dos horas sobre las superficies ya limpias y desinfectadas. Además, el tiempo de contacto con los detergentes es insuficiente, desaprovechándose su acción.

Actualmente, los sistemas a baja presión están desplazando a los de alta presión. El detergente se dosifica automáticamente y se aplica en forma de espuma, lo que maximiza el rendimiento y efectividad del producto químico al prolongar el tiempo de contacto con la suciedad.

Es un sistema desarrollado para la limpieza diaria de grandes superficies ya que con el detergente adecuado se consigue eliminar la mayor parte de la grasa y residuos, reduciendo el fregado manual (6).

Las mangueras de red están quedando reducidas a limpiezas puntuales, a puntos que presentan residuos poco incrustados y las necesidades de higiene en esos puntos no sean altas (7).

Así pues, los sistemas de alta presión y las mangueras de red están quedando reducidas a limpiezas puntuales y sustituidas por los sistemas de baja presión que presentan una mayor versatilidad y eficacia en la aplicación de detergentes y desinfectantes (6, 7, 37).

Existen máquinas automáticas y túneles de lavado por aspersión para facilitar la limpieza de carros cutter, etc., que permiten una aplicación de los agentes químicos de limpieza en forma de ducha. Normalmente constan de un sistema de boquillas difusoras, alimentadas por bombeo desde el baño que contiene la solución limpiadora proyectándola sobre los elementos a limpiar y cayendo sobre el propio baño. Es conveniente añadir un desinfectante clorado o a base de ácido paracético en el agua de enjuague (6).

Sobre superficies verticales y en objetos difíciles de limpiar en virtud de su forma, los productos, fundamentalmente con propiedades tensodepresoras, se aplican como espuma. Tras un enjuagado previo con agua tibia, se genera una espuma más o menos estable haciendo actuar aire a presión sobre soluciones limpiadoras que contengan sustancias tensodepresoras; la espuma actuando a altas temperaturas (40-60 °C) durante 10-30 minutos reblandece, levanta y desprende la suciedad, para poder por último enjuagarla con agua tibia.

El efecto de estos medios se refuerza con acciones mecánicas como frotados, barridos, cepillados, raspados y las practicadas con ayuda de aparatos de pulverización a alta presión e impulsores de chorro de vapor.

En la tabla 9.4 se presentan las ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas de actuación en la limpieza de superficies en la industria de la carne (26).

**Tabla 9.4 (26)**

<b>Técnica del procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Limpieza manual</b>	Pueden eliminarse todas las suciedades; la técnica de actuación puede adaptarse a las necesidades.	Elevadas necesidades de personal, tiempo y costos; el éxito de la limpieza depende del cuidado puesto por el personal.
<b>Limpieza mecánica</b>	Ahorra personal, tiempo y costos.	No todas las suciedades pueden eliminarse.
<b>Alta presión</b>	Buena acción limpiadora sobre suciedades proteicas y grasas, si se utiliza con el debido cuidado.	Variaciones superficiales; formación de aerosoles.
<b>Vapor</b>	Destrucción parcial de los gérmenes por el vapor.	Intensa formación de vahos y agua condensada.
<b>Espuma</b>	Se reblandecen las suciedades proteicas reseca; adherencia de la espuma a las superficies verticales.	La grasa no se disuelve y elimina.

En la industria cárnica es preciso tener en cuenta los diferentes desinfectantes según el modo de aplicación considerado.

Según lo dicho anteriormente, para la desinfección de equipos se emplea habitualmente el método por lavado, aunque existen otros métodos utilizados antiguamente en mayor medida. Los métodos antiguos, gases y vapores, casi vapores de Kendersol, spray industrial, spray de baja presión (botellas), etc., eran indicados para la desinfección tanto del medio ambiente como de superficies (25).

Entre los métodos en estudio más recientes, hay que citar el método de desinfección por termonebulización, el cual requiere la utilización de un detergente de tipo enzimático de alcohol decílico etoxilado no iónico, y un desinfectante a base de aldehídos (formaldehído y glutaraldehído). Este método es indicado para la desinfección del medio ambiente y las superficies y equipos que contactan con los alimentos (49).

### 9.8.3.2. Industria láctea

Un procedimiento que está logrando cada vez mayor aceptación en la industria láctea es la denominada «limpieza en una sola fase», la cual consta de una serie de productos diseñados para tal fin. La tecnología que se utiliza se emplea desde hace algunos años con éxito en numerosas zonas de la industria láctea.

En contraposición a la limpieza tradicional que consta, aparte de prelavado y enjuagues de dos etapas de limpieza (una alcalina y otra ácida), en ésta es suficiente una sola etapa (alcalina o ácida). En ambos procedimientos se puede añadir además una etapa dedicada a la desinfección.

Así pues, la limpieza para el «proceso en una sola fase» (ácida o alcalina) en un sistema de limpieza in situ (C.I.P.) consta de las siguientes etapas:

1. Leche o producto lácteo.
2. Prelavado.
3. Limpieza.
4. Enjuague intermedio.
5. Desinfectante.
6. Enjuague final.

Mientras que el sistema C.I.P. convencional en dos fases consta de las siguientes etapas:

1. Leche o producto lácteo.
2. Prelavado.
3. Limpieza alcalina.
4. Enjuague intermedio.
5. Limpieza ácida.
6. Enjuague intermedio.
7. Desinfectante.
8. Enjuague final.

Del análisis de ambos tipos de limpieza (una o dos fases) se desprenden las siguientes valoraciones:

- Mejora sustancial en el aspecto económico, ya que se ahorra tiempo debido a que solo hay una etapa en lugar de dos. Además de un ahorro de consumo eléctrico y de vapor.
- Mejora ecológica ya que se necesita menor cantidad de agua limpia para las etapas de enjuague intermedio, para nuevos montajes y para igualar pérdidas de producto, resultando así un menor volumen de aguas residuales.

Es muy importante tener claro que producto de limpieza y control del proceso forman un conjunto crucial para la optimización del resultado final. Por ejemplo, una separación de fases óptima sólo es posible con la técnica de conductividad por inducción (unidades P3-LMIT 07) (110).

Cabe hacer algunas consideraciones con respecto a ambos sistemas:

- Por un lado, diríamos que en la limpieza tradicional en dos fases los productos alcalinos eliminan proteínas, grasas e hidratos de carbono. Mientras que los productos ácidos eliminan la «piedra de leche» y las precipitaciones debidas a la dureza del agua.
- Por otro lado, en la limpieza moderna en una sola fase estos productos eliminan tanto proteínas, grasas e hidratos de carbono como la dureza del agua y la «piedra de leche».

En función de la zona o área a limpiar es aconsejable uno u otro tipo. Así por ejemplo en zonas de leche fría: cisternas de recogida, tuberías, instalaciones de llenado, se recomienda la limpieza en una fase ácida o alcalina. Según la dureza del agua la limpieza ácida puede ser más económica.

En áreas donde coagula el queso o moldes de queso se recomienda la limpieza en una fase ácida.

En zonas de leche fría, como llenadoras de requesón, yogur, etc. y tanques, se recomienda la limpieza en una fase alcalina.

En los pateurizadores se recomienda la limpieza en una fase alcalina con aditivos.

No obstante, en equipos UHT y evaporadores no es adecuada la limpieza en una sola fase.

### **9.8.3.3. Industria enológica**

Los métodos utilizados en la industria enológica para las prácticas higienizantes son los siguientes:

- Cepillado.
- Aspersión.
- Inmersión.



- Circulación.
- Nebulización y fumigado.
- Limpieza *in situ*.
- Ultrasonidos.

Dichos métodos ya han sido explicados en el punto 9.8.3.

No obstante, diremos que el método por ultrasonidos puede utilizarse como soporte mecánico de las labores de limpieza y desinfección realizadas mediante inmersión en el caso de aparecer suciedad muy resistente.

Los ultrasonidos provocan en algunos casos problemas de cavitación. Esto hace aparecer presiones en ocasiones que superan los 100.000 bares, en ciertos puntos.

En la industria enológica resulta de vital importancia la limpieza y desinfección de filtros que se utilizan en la preparación del vino, así como la limpieza y desinfección de las llenadoras. Estas deben esterilizarse y para ello se puede hacer mediante vapor o agua caliente.

La esterilización mediante vapor dura entre 30 y 60 minutos. Se debe filtrar previamente el vapor que se va a inyectar con el objetivo de no transportar impurezas desde el generador de vapor hasta la llenadora.

También se suele hacer una esterilización por reciclaje de agua caliente. En este caso la temperatura del agua debe oscilar entre los 65 y 75 °C. Con un tiempo entre 50 y 90 minutos y la temperatura no debe bajar más de 5 °C. El agua de esterilización debe llevarse a un pH cercano a 2,8 mediante ácido cítrico, y contener solución de SO<sub>2</sub> de 10 g/hl. La utilización de SO<sub>2</sub> y de ácido cítrico puede reemplazarse por una esterilización con agua a 90 °C. (109).

#### 9.8.4. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua también es un factor determinante, debe ser potable, limpia y transparente, blanda (no precipitará los jabones ni formará incrustaciones), libre de microorganismos y no corrosiva (6).

El agua potable debe contener entre 0,3 y 0,5 ppm de cloro activo. El agua de lavado 1 ppm y el agua utilizada en las tareas de higienización 25 ppm (108).

Una dureza excesiva reduce la eficacia de algunos detergentes y desinfectantes (las sales de amonio cuaternario sobre todo) y contribuye a la formación de incrustaciones en la superficie del equipo tras la evaporación (6, 7, 9, 16, 17, 51, 54, 55).

El uso de aguas blandas está particularmente indicado en las operaciones de limpieza química (enjuague después de aplicación de productos químicos de deterción y desinfección) (16).

La influencia de la calidad del agua en la actuación de los productos higienizantes (detergentes y desinfectantes) se ha detallado más en particular para cada tipo de producto en los puntos 9.9.2 y 9.10.4.

Por todo lo dicho anteriormente es aconsejable el realizar análisis del agua proveniente de la red la cual se utiliza en las prácticas higienizantes.

En anexos se encuentra la tabla A.1, donde aparece una relación de los parámetros organolépticos, físico-químicos, de sustancias no deseables y tóxicas así como parámetros microbiológicos que se controlan en aguas potables según la legislación española.

Los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  forman sales insolubles como los jabones, con los ácidos grasos presentes en la suciedad, precipitados que se adhieren fuertemente sobre el sustrato, provocando incrustaciones que dificultan la eliminación orgánica, actúan como reservorios de microorganismos por su elevada porosidad y, además, favorecen la corrosión y reducen la transferencia de calor (113).

La dureza total del agua (TH) es un factor determinante para el uso de según qué productos higienizantes. La dureza total, o grado hidrotimétrico, es la suma de las sales de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ .

La dureza total se expresa normalmente como grado hidrotimétrico, que puede ser:

- Grado hidrotimétrico francés (Hf) o inglés que corresponden a 0,01 g  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  (o también 10 ppm de  $\text{CaCO}_3$ ).
- Grado hidrotimétrico alemán que corresponde a 0,01 g  $\text{CaO}/\text{l}$ .

Su equivalencia es:

$$1\text{ }^\circ\text{F} = 1,78\text{ }^\circ\text{alemanes}$$

Para la clasificación de las aguas en función del grado de dureza (grados franceses) se pueden hacer en función de la tablas A.2 y A.3 (ver anexos).

Mediante la dureza además nos aseguramos de la potabilidad del agua utilizada con arreglo a la normativa (82).

La reacción importante que tiene lugar en relación a la dureza del agua es la siguiente:



El bicarbonato cálcico, sal inestable en solución acuosa, se mantiene en solución gracias al  $\text{CO}_2$  disuelto, tal y como muestra la ecuación.

Se denomina  $\text{CO}_2$  equilibrante al  $\text{CO}_2$  necesario para que este equilibrio se mantenga. De esta manera, cuando una cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto supera al equilibrante se le denomina  $\text{CO}_2$  agresivo. Este impide la formación de precipitados de  $\text{CaCO}_3$ , pero corroe los materiales.

Por otro lado, también se puede dar el caso en el que la concentración de  $\text{CO}_2$  disuelto es inferior a la equilibrante denominándose el agua incrustante. Este fenómeno se ve facilitado con un aumento de la temperatura.

La eliminación del  $\text{CO}_2$  de la anterior ecuación por medio de aireación, pulverización y neutralización del  $\text{CO}_2$  (sosa, cal, etc.) provoca la formación de incrustaciones de  $\text{CaCO}_3$ .

Se emplean compuestos químicos que tienen la propiedad de formar complejos con los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ . Además tienen la característica de que son altamente solubles.

A tal fin, frecuentemente son utilizados los siguientes compuestos:

- Fosfatos minerales.

Entre los más utilizados se encuentran el hexametáfosfato y el tripolifosfato. La cantidad de  $\text{P}_2\text{O}_5$  del agua a acondicionar no debe exceder de 5 ppm.

Los polifosfatos poseen la desventaja de hidrolizarse y perder su función complejante. Por encima de los  $60\text{ }^\circ\text{C}$  la velocidad de hidrólisis aumenta de manera rápida. Cuando se trabaja a bajas concentraciones sus propiedades complejantes se pueden perder.

En limpieza, la hidrólisis es despreciable debido a la alta concentración de polifosfatos en los detergentes.

- Fosfatos orgánicos.

Presentan la característica de que térmicamente son estables.

Con el calcio y el magnesio forman un barro o lodo amorfo sin efecto inscrutable que se dispersa fácilmente.

- Ácidos carboxílicos y sus sales.

Suelen emplearse compuestos como el EDTA, el NTA y sus sales alcalinas. Estos productos son estables hasta  $140\text{ }^\circ\text{C}$  (113).

### 9.8.5. EFECTO CONTAMINANTE

Como se ha dicho anteriormente, la elección de un producto higienizante debe contemplar su aspecto ecológico ya que es de gran interés el respetar el medio ambiente.

La elección del tipo de producto ha de permitir en general una buena biodegradabilidad de los tensioactivos, el empleo de agentes complejantes biodegradables o eliminables, un contenido en fosfatos y/o nitrógeno bajo o nulo, además de no usar derivados de fenoles ni metales pesados (110).

## 9.9. PRODUCTOS QUÍMICOS DE LIMPIEZA

### 9.9.1. PROPIEDADES

Un detergente es una sustancia o mezcla de sustancias que aplicada en determinadas condiciones es capaz de eliminar la suciedad de la superficie que se desea limpiar. En un proceso de limpieza hay que distinguir tres fases claramente distintas:

1. Separación de la suciedad de la superficie a limpiar.
2. Dispersión de la suciedad en la solución detergente.
3. Estabilización de la dispersión de la suciedad dentro de la solución detergente (46).

Los principales atributos de calidad de un detergente son:

- Poder de disolución de la materia orgánica.
- Poder mojante.
- Poder de dispersión.
- Poder de estabilización.
- Poder hidrolizante.
- Facilidad de enjuagado.
- Poder secuestrante.
- Poder emulsionante.
- Poder tampón.
- Poder bactericida.
- Poder de corrosión.
- Causticidad y toxicidad.
- Baja concentración de uso (47).

Dado que no se conoce una sustancia que posea los atributos descritos en grado óptimo, los detergentes que se usan en la práctica son sustancias o mezclas de sustancias que se adaptan lo mejor posible a las necesidades del tipo de limpieza a realizar. Así, según el tipo de limpieza, el detergente a emplear puede variar sensiblemente (29).

### 9.9.2. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Muchos son los detergentes que se encuentran en el mercado, pero se les puede clasificar de la siguiente manera:

1. Detergentes compuestos principalmente por álcalis inorgánicos.
2. Detergentes compuestos por ácidos inorgánicos u orgánicos.
3. Detergentes compuestos principalmente por un agente activador de superficies (surfactante).
4. Polifosfatos alcalinos que se utilizan por su capacidad como acondicionantes del agua en lugar de su alcalinidad.

#### 1. *Detergentes inorgánicos alcalinos*

Los detergentes alcalinos poseen buenas propiedades emulsionantes y pueden disolver alimentos sólidos tales como las proteínas. Se incluyen entre ellos:

- Hidróxido sódico.  
La disolución de sosa cáustica es un detergente poderoso con propiedades emulsificantes y dispersantes excelentes. Es un bactericida efectivo. El hecho de ser altamente corrosivos hace que en la industria cárnica se empleen de forma minorizada, para lo cual son mezclados con otros productos resultando una acción sinérgida entre ambos. Tiene el inconveniente de formar una película muy fina de sólidos dispersos sobre la superficie de equipos que es difícil de quitar.
- Metasilicato sódico.  
Otro detergente muy útil que tiene buenas propiedades como humectante, emulsificante y defloculante es mucho menos corrosivo que la sosa cáustica.

Con frecuencia se utiliza mezclado con polifosfato sódico, mezclas que se recomiendan emplear cuando la dureza del agua excede los 100 mg/litro de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

- **Ortosilicato sódico y sesquisilicato sódico.**  
Ambos producen disoluciones muy alcalinas con un elevado poder saponificante. Atacan fácilmente a las grasas y proteínas. El sesquisilicato es menos corrosivo que el ortosilicato.
- **Fosfato trisódico.**  
La disolución de fosfato trisódico posee un excelente poder emulsificante y dispersante. Es un agente reblandecedor del agua y, como tal, se usa junto con otros detergentes como un acondicionador del agua en compuestos de limpieza generales.  
No siendo un germicida muy eficaz, es un buen detergente al provocar una eficiente remoción mecánica de la suciedad en superficies muy lisas y pulidas, como es el caso de los equipos de acero inoxidable.
- **Carbonato sódico.**  
La sosa, lo mismo que el bicarbonato de sodio y el sesquicarbonato de sodio, se ha utilizado como reblandecedor del agua y agente de limpieza, pero su uso principal es como agente tampón en muchas mezclas de limpieza. Relativamente seguro de manejar, se utiliza principalmente en la limpieza manual. Los detergentes alcalinos utilizados en la industria cárnica cumplen la función de disolver grasas, proteínas y humo fundamentalmente, por ese motivo son elegidos precisamente en tales industrias. Existen de varios tipos espumantes, no espumantes, clorados, y con mayor o menor grado de alcalinidad, etc; para cada uno de estos tipos existe unos puntos específicos donde es necesario utilizarlos para realizar una limpieza eficaz.

## 2. Detergentes ácidos con acción detergente

En los últimos años ha aumentado el uso de detergentes ácidos en la limpieza de las industrias cárnicas, aunque no se les use tanto como los álcalis. En el pasado se han utilizado los ácidos inorgánicos inhibidos como el clorhídrico, nítrico y fosfórico, para separar costras duras. Estos depósitos son relativamente insolubles en disoluciones alcalinas, en cambio son separados fácilmente por las ácidas. Tales ácidos están ahora siendo reemplazados en estas aplicaciones por ácidos orgánicos no corrosivos como los ácidos sulfámico, cítrico, tartárico y glucónico. Son bastante utilizados en el lavado de equipos. Los detergentes ácidos se pueden utilizar sin riesgos junto con iodóforos en soluciones detergentes-desinfectantes. De uso en la industria cárnica existen varios tipos, espumantes, no espumantes, con base ácidos orgánicos e inorgánicos, indicados según los puntos sobre los que se utiliza y la forma de aplicarlos.

## 3. Detergentes compuestos por agentes tensioactivos

Son fáciles de adquirir una gran variedad de agentes activadores de superficie que corrientemente se añaden a las formulaciones de los detergentes para aumentar las

propiedades humectantes y de penetración. Muchos son excelentes agentes emulsionantes y pueden dispersar aceites, grasas, etc. También se pueden adquirir surfactantes estables en condiciones ácidas y alcalinas, siendo compuestos que contienen grupos solubles en agua (hidrófilos) y grupos solubles en aceite (lipófilos). En presencia de sistemas agua-aceite, la parte hidrófila se disuelve en la fase acuosa y la parte lipófila lo hace en el aceite. Con una corriente turbulenta de agua se elimina la emulsión separada de la superficie contaminada con aceite o grasa y, por tanto, se ha realizado su limpieza.

Los agentes de superficie activa se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Tensioactivos aniónicos.

El ion activo en disolución está cargado negativamente. En el mercado se encuentran muchas variedades sintéticas. Tienen excelente poder dispersante y humectante, siendo especialmente útiles en la eliminación de ácidos grasos o suciedades inorgánicas (tipo polar). Son malos bactericidas y se utiliza sólo por sus propiedades detergentes.

Dentro de este grupo se encuentran las siguientes sustancias:

— Jabones (sales sódicas de ácidos grasos) ( $R-COONa$ ).

— Alquilsulfatos ( $R-CH_2-O-SO_3Na$ ) (uno de los más usados es el laurilsulfato sódico).

— Alquilsulfonatos ( $R-CH_2 SO_3Na$ ).

- Tensioactivos catiónicos.

Estos surfactantes en disolución acuosa dan iones cargados positivamente. Son malos detergentes, pero excelentes bactericidas, utilizándoseles por sus propiedades desinfectantes.

Los más importantes son los amonios cuaternarios. Las principales sustancias de este grupo son:

— Cloruro de benzalcoilo.

— Sulfato de dodeciletanolamina pirimidina.

— Aminas.

— Aminas etoxiladas.

No son normalmente utilizados en combinación con otros agentes detergentes pues, dadas sus cualidades como germicidas, se suelen utilizar en la etapa de desinfección, y como se ha señalado no es conveniente reunir en una sola operación detersión y desinfección.

- Tensioactivos no-iónicos.

Los agentes de superficie no iónicos no se disocian en disolución. Consecuentemente no son prácticamente afectados por la dureza del agua. Son poderosos emulsionantes y se utilizan para emulsionar suciedades y tierras coloidales, porque son inertes a la carga eléctrica presente en los coloides. Los agentes surfactantes no-iónicos tienen una acción espumante pronunciada que pueden conducir a dificultades, especialmente en la eliminación de los desechos de detergentes contaminados.

Las principales sustancias de este grupo son:

- Condensados de óxido de etileno sobre alcoholes grasos.
- Condensados de óxido de etileno sobre alquilfenoles.
- Ésteres de sacarosa.
- Ésteres de ácidos grasos.
- Condensados de ácidos grasos con aminoácidos.

Algunos surfactantes aniónicos exhiben efectos sinérgicos con otros compuestos, por lo que la capacidad detergente de la mezcla es mejor que la de los compuestos individuales.

## 9.10. PRODUCTOS QUÍMICOS DESINFECTANTES

### 9.10.1. PROPIEDADES

Las propiedades que debería reunir un desinfectante ideal, si existiera, serían las siguientes:

1. Buena actividad antimicrobiana.
2. Solubilidad, para hacerlo realmente eficaz.
3. Estabilidad frente a las diferentes condiciones de actuación.
4. Atoxicidad para el hombre y los animales.
5. Homogeneidad cuando se incorpore a diferentes formulaciones.
6. No reactivo con otras sustancias, como consecuencia lógica de su estabilidad y homogeneidad.
7. Tóxico para los microorganismos a las temperaturas normales.
8. Buena penetración, para no limitarse a actuar en el punto de aplicación.
9. No corrosivo ni colorante, por razones de comodidad de uso.
10. Desodorante e inodoro, por las mismas razones.
11. Detergente para facilitar la limpieza.
12. Disponible en grandes cantidades y a buen precio (50).

### 9.10.2. FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LOS RESULTADOS DE LA DESINFECCIÓN

En la práctica, teniendo en cuenta que no existen germicidas universales, como tampoco antibióticos universales, es preciso tener un conocimiento claro sobre los diferentes factores que influyen sobre la acción de los germicidas o desinfectantes (25).

La efectividad de un agente particular está determinada en gran parte por las condiciones en las cuales actúa (45).

### 9.10.2.1. Perfil microbiológico

El tipo de microorganismo influye fuertemente sobre los resultados, independientemente de las variaciones biológicas que existen entre las diferentes especies, cepas e incluso dentro de la misma población microbiana (25).

Las propiedades más importantes del tipo de microorganismo consisten en la especie de microorganismo, la fase del cultivo, la presencia de estructuras especiales, como esporas o cápsulas, los antecedentes del cultivo y el número de microorganismos en el sistema en ensayo (figura 9.7) (45).

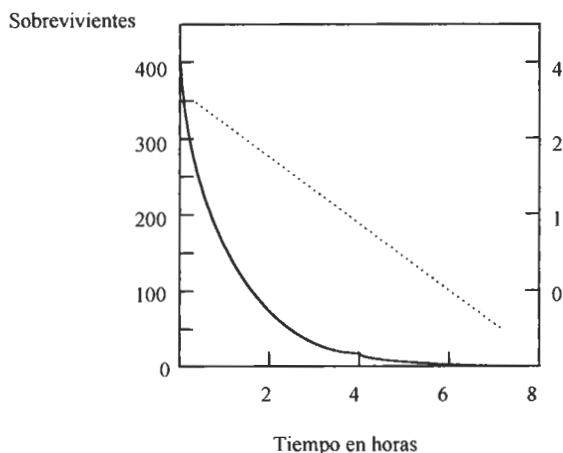


Fig. 9.7. Velocidad de destrucción de esporas de carbunco tratadas con fenol al 0,5% a 33,3 °C. El número de esporas sobrevivientes está representado en escala aritmética y en escala logarítmica. (De Chick: *J Hyg (Camb)* 8:92, 1908) (45)

La clasificación en función a la resistencia a los antisépticos se ha hecho por grupos:

#### 1. El primer grupo

Forman parte todas las formas vegetativas de las bacterias y hongos, así como también una gran parte de los virus (lipid Virus: Herpes, Vaccinia, Influenza, etc.), que son perfectamente sensibles a la acción de todos los germicidas químicos. Si existen algunas diferencias entre las bacterias gram negativas y las gram positivas, e incluso dentro del mismo grupo, estas diferencias no aparecen más que en las diluciones de límite (25). Las bacterias gram negativas son intrínsecamente resistentes a ciertos antisépticos y desinfectantes cuando son comparadas con las células gram positivas. Esto generalmente ha sido atribuido a la presencia de una membrana exterior



(figura 9.8) en la cubierta de las células gram negativas, la cual no se encuentra en la superficie de las células gram positivas (51).

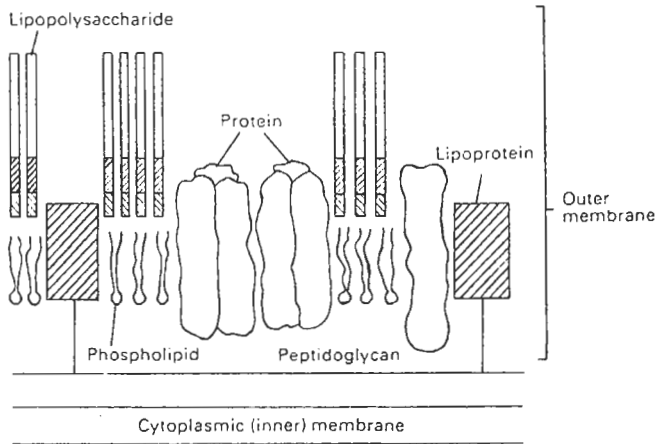


Fig. 9.8. Diagrama detallado de la estructura de las bacterias Gram negativas (51)

Los gérmenes resistentes a los antibióticos tienen la misma sensibilidad contra los germicidas que los otros.

## 2. El segundo grupo

Comprende las mycobacterias (única excepción dentro de las formas vegetativas a razón de su capa protectora que le permite resistir a todos los germicidas hidrófilos), y también los virus hidrófilos (Polio, Coxsackie, Echo, etc.) con una resistencia elevada contra ciertos germicidas.

## 3. El tercer grupo

Comprende las esporas, la fase más resistente a la vida microbiana en todos los conceptos, y particularmente en cuanto se refiere a los germicidas.

Las esporas constituyen el principal obstáculo a la desinfección por métodos químicos; sin embargo, siendo diseminados ampliamente en la naturaleza, pueden estar implicados en la infección alimentaria.

Pocos son los germicidas que actúan con seguridad contra las esporas (formol, alcohol, aldehído glutático, B-propionolactona, ácido paracético); lo hacen siempre en concentraciones altas y necesitan horas para completar su acción.

En la figura 9.9 se muestra un ranking de microorganismos en función a la susceptibilidad que presentan frente a los desinfectantes (51).



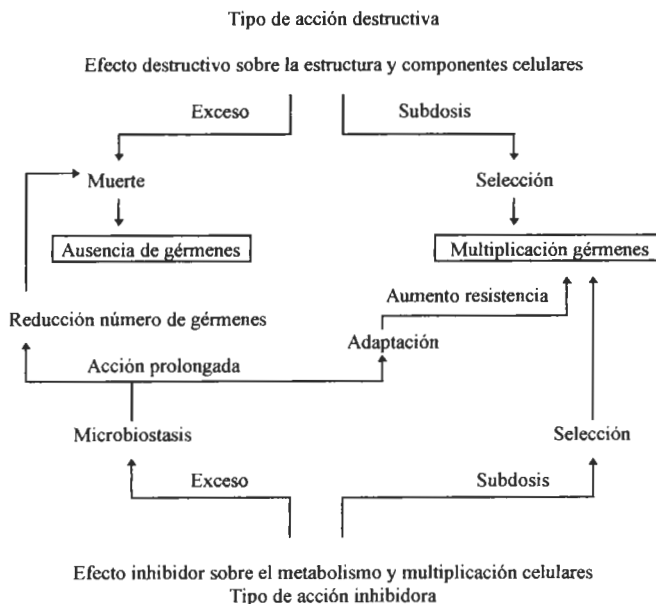


Fig. 9.10. Modelo de reacción de acuerdo con el tipo de acción (26)

### 9.10.2.2. Número de bacterias a destruir

Evidentemente cuanto más elevado es el número de gérmenes, más tiempo necesitará una solución definida de germicida para destruirlos.

Dentro de la misma población microbiana existen diferencias biológicas, de forma que si el 90% de gérmenes quedan destruidos en 1 minuto, el resto del 10% necesitan una cantidad de germicida y un tiempo desproporcionado para ser eliminados (25, 45).

### 9.10.2.3. Concentración

Aumentando la concentración de germicida, se reduce el tiempo necesario para destruir los microorganismos. Incluso el aumento de la concentración, permite alguna vez atacar gérmenes que normalmente este tipo de germicida no atacaba. Así algunos germicidas en altas concentraciones pueden ser igualmente virulicidas y mycobactericidas (25).

La relación entre la concentración del agente microbicida ( $c$ ) y el tiempo necesario para realizar una destrucción del 90% de la flora microbiana ( $D_q$ ), viene dada por la ley de Watson (1908):

$$c^n D_q = \text{constante}$$

Lo cual implica que  $(Dq)$  es proporcional a  $(c^n)$ . El exponente  $(n)$  es muy variable según el microorganismo y el desinfectante. Para las salmonellas, a 25 °C, el valor de  $(n)$  es de 4 para el fenol y cercano a la unidad para otras sustancias bactericidas (29).

La muerte microbiológica no tiene una respuesta instantánea de todo o nada, pero depende marcadamente del tiempo de contacto y la concentración; véase por ejemplo las curvas de tiempo-supervivencia representadas en la figura 9.11 (51).

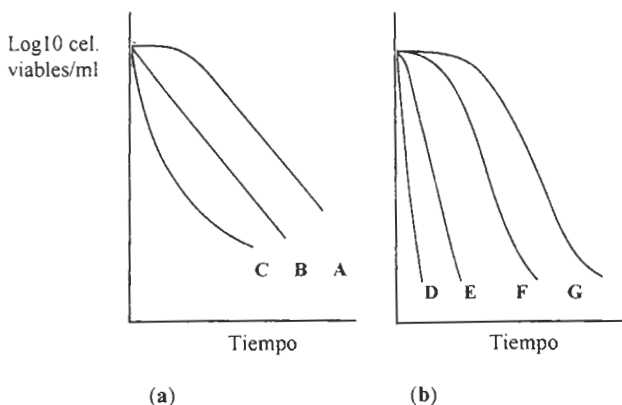


Fig. 9.11. Ejemplos de curvas tiempo-supervivencia de suspensiones bacterianas expuestas a desinfectantes: (a) Respuestas bacterianas: A, tras el inicio viene una muerte exponencial; B, muerte exponencial; C, muerte exponencial seguida de una cola. (b) Efecto de diferentes concentraciones (D, muy alta; G, muy baja) de fenol actuando sobre E. coli. A muy baja concentración, se produce una curva sigmoidal. Estas aparecen más pronunciadas al aumentar la concentración, apareciendo una línea recta como respuesta a la altísima concentración (51)

#### 9.10.2.4. Materia orgánica

Sangre, plasma, materias fecales, agua dura, materias orgánicas, alimentos, suciedad, etc., pueden adsorber e inactivar las moléculas de germicidas y entonces solamente actuará la parte en exceso de la solución. Algunos germicidas (yodo, cloro, cuaternarios, etc.), son particularmente sensibles e inactivados en estas condiciones. Las materias orgánicas pueden formar una capa protectora incluso bajo una acción coagulante de ciertos germicidas concentrados (formol).

Muchos desinfectantes químicos actúan por una combinación con la proteína de la célula y, claro está, en presencia de materia orgánica extraña reaccionan con este material inerte, lo cual disminuye su concentración eficaz (48).

El uso de un detergente con los germicidas (germicida-detergente), es primordial en las industrias alimentarias, donde abundan las materias orgánicas en todas las superficies, a fin de separar y eliminar la suciedad de su soporte, facilitando la acción directa del germicida sobre los microorganismos (25).

### 9.10.2.5. Duración de la acción germicida

Cuando las bacterias se exponen a una concentración específica del agente bactericida, aun en exceso, no todos los microorganismos mueren al mismo tiempo sino que más bien se produce una disminución gradual en el número de células viables. Habitualmente se considera que la desinfección es un proceso en el curso de un período razonable de tiempo, pero existen diferentes opiniones sobre cuál debería ser este tiempo (figura 9.4) (45, 48).

### 9.10.2.6. Temperatura

La destrucción de las bacterias por los agentes químicos aumenta junto con la temperatura. A temperaturas bajas, por cada 10 °C de incremento de la temperatura se produce una duplicación del índice germicida. En el caso de algunos agentes, como el fenol, el índice se incrementa de cinco a ocho veces, lo que sugiere una reacción más compleja y la participación de factores adicionales (45).

### 9.10.2.7. Humedad

Interviene para los germicidas actuando en fase de vapor.

### 9.10.2.8. pH

La concentración del ion hidrógeno influye sobre la acción bactericida al afectar tanto al microorganismo como al agente químico.

Cuando las bacterias están suspendidas en un medio de cultivo de pH 7 tienen una carga negativa. Un aumento del pH aumenta la carga y puede alterar la concentración efectiva del agente químico sobre la superficie de la célula.

El pH también determina el grado de ionización del producto químico. En general la forma no ionizada de un agente disociable pasa a través de la membrana celular con mayor facilidad que las formas iónicas relativamente inactivas (45, 48).

## 9.10.3. MECANISMOS DE LA ACCIÓN DESINFECTANTE

Los mecanismos que podemos considerar son los siguientes:

1. Por degeneración de la membrana citoplasmática, extrusión del citoplasma y deterioración de la pared celular.

Los agentes desinfectantes que suelen utilizar este mecanismo son:

- Tensioactivos anfotéricos.
- Sales de amonio cuaternario.

2. Por desnaturalización o precipitación de las proteínas citoplasmáticas de las células. Los agentes desinfectantes que suelen utilizar este mecanismo son:
  - Fenoles.
  - Cresoles.
  - Alcoholes.
  - Sales de amonio cuaternario.
3. Por inactividad de las enzimas. Los agentes desinfectantes que suelen utilizar este mecanismo son:
  - Sulfamidas.
  - Metales pesados.
4. Por aumento de la concentración de iones hidrógeno o hidroxilos. Los agentes desinfectantes que suelen utilizar este mecanismo son:
  - Ácidos.
  - Álcalis.
5. Por acción oxidante o reductora. Los agentes desinfectantes que suelen utilizar este mecanismo son:
  - Agua oxigenada.
  - Permanganato potásico.
  - Productos halogenados (113).

En la figura 9.12 se muestra una representación de los diferentes puntos sobre los que actúan los distintos agentes desinfectantes por los diversos mecanismos de actuación existente (62).

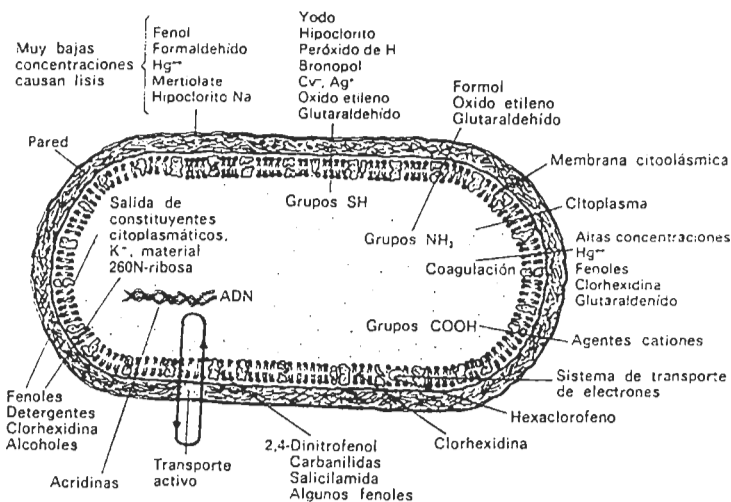


Fig. 9.12. Diagrama que muestra los puntos diana para la acción de los principales desinfectantes (62)

### 9.10.4. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los productos desinfectantes que se encuentran en el mercado son mezclas de agentes microbicidas con otros compuestos que tienen un efecto sinérgico en su acción, dichos son:

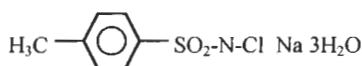
- Tensoactivos: favorecen el contacto del producto químico desinfectante con los microorganismos a eliminar.
- Secuestrantes: resuelven los problemas ocasionados por los iones calcio y magnesio presentes.
- Ácidos, bases y sales: Logran el mantenimiento del pH en las soluciones desinfectantes en su valor óptimo de actuación antimicrobiano.

Los principales desinfectantes de uso alimentario que podemos encontrar actualmente en el mercado, atendiendo a una clasificación según su actividad, son los siguientes:

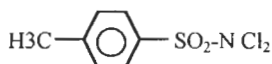
- Mezclas de ácido paracético con agua oxigenada.
- Derivados halogenados.
- Agentes de oxidación.
- Aldehídos.
- Compuestos de amonio cuaternario (139).

#### 1. Cloro y productos clorados

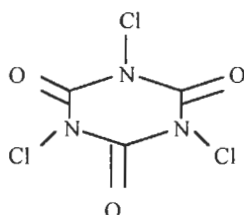
Son los más ampliamente utilizados en la industria cárnica (7). Los tipos de compuestos de cloro incluyen los hipocloritos de calcio y sodio, las sales del ácido isocianúrico



Cloramina T  
(sodio *p*-tolueno-sulfocloramida)



Dicloramina T  
(*p*-tolueno-sulfadicloramida)



Ácido tricloroisocianúrico

nérico, los derivados de la hidantoína y los fosfatos de trisodio clorados, así como el cloro gaseoso (9). Otro agente clorado consiste en componentes orgánicos (los N-cloro componentes), llamados también organoclorados, como la cloramina-T, dicloramina-T, y ácidos di- y tri-cloroisocianúricos. Su estructura química se representa en la figura 9.13 (51).

Las condiciones de utilización de estos compuestos se corresponden con unas temperaturas entre 20 y 40 °C.; un tiempo de acción, entre 10 y 15 minutos; un pH, entre 8 y 9 y una concentración de cloro, entre 100 y 200 mg/l (139).

Los organoclorados (sobre todo cloraminas) tienen una buena actividad antimicrobiana, con una mayor estabilidad y larga duración que los hipocloritos (50).

La fuente de cloro en los productos clorados en polvo suele ser el fosfato de trisodio clorado, el diclorocianuro de potasio, la diclorodimetilhidantoína o cloramina T. Los dos primeros proporcionan el cloro más activo en la solución desinfectante. A parte de estos compuestos se han utilizado igualmente mezclas de cloro y bromo, y el dióxido de cloro como agentes desinfectantes (9).

El cloro gaseoso solo se emplea en grandes volúmenes de agua ya que es peligroso y exige una instalación adecuada (50).

Los agentes más ampliamente utilizados en el campo de los alimentos son los hipocloritos (lejía) (51).

En la tabla 9.5 se consignan las ventajas y desventajas del uso de los hipocloritos como agentes desinfectantes.

**Tabla 9.5. Ventajas y desventajas de los hipocloritos como desinfectantes (9)**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Relativamente baratos.</li> <li>● Acción rápida.</li> <li>● Inalterados por las sales de las aguas duras.</li> <li>● Residuo inofensivo, no forman película superficial.</li> <li>● Eficaces en fuerte dilución.</li> <li>● Activos contra una gran variedad de microorganismos, esporas y fagos incluidos.</li> <li>● Relativamente no tóxicos a las diluciones de empleo.</li> <li>● No manchan.</li> <li>● Incoloros.</li> <li>● Fáciles de preparar y emplear.</li> <li>● Concentración fácilmente determinada.</li> <li>● Puede usarse para el tratamiento del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Inestables durante el almacenamiento.</li> <li>● Inactivos por los compuestos orgánicos.</li> <li>● Corrosivos si son mal utilizados.</li> <li>● Irritan la piel.</li> <li>● Olor a veces inaceptable.</li> <li>● Precipitan en las aguas ferruginosas.</li> <li>● La eficacia disminuye cuando aumenta el pH de la solución.</li> <li>● Pueden extraer el carbono de las piezas de caucho de la maquinaria.</li> </ul>

Los hipocloritos son eficaces en diluciones relativamente elevadas y contra un amplio espectro de bacterias y esporas bacterianas, así como los hongos, levaduras, bac-



teriófagos y algunos virus. Los hipocloritos son considerados como más eficaces contra las bacterias gramnegativas que contra las grampositivas. Los virus son más resistentes que las bacterias a la acción del cloro (9).

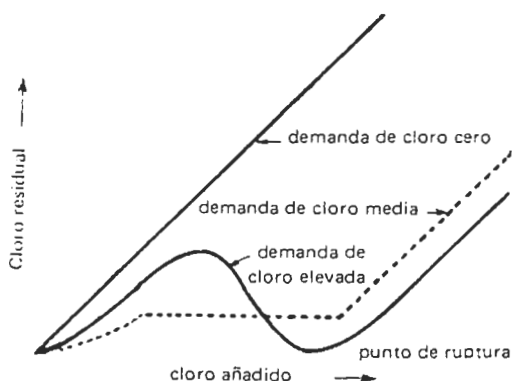
La presencia de compuestos orgánicos y oxidantes reduce la eficacia de los hipocloritos (tabla 9.6).

**Tabla 9.6. Factores influyentes en la actividad de los hipocloritos (51)**

Factor	Resultado
pH	La actividad crece o decrece por el pH; HClO es la especie activa.
Concentración de hipoclorito (pH constante)	La actividad depende de una concentración activa de cloro.
Materia orgánica	La actividad antimicrobiana se reduce considerablemente.
Otros agentes	Se puede lograr una potenciación mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) adición de amonios.</li> <li>b) 1,5-4% hidróxido de sodio.</li> <li>c) adición de pequeñas cantidades de bromo.</li> </ul>

Debido a su alto potencial corrosivo, no deberían usarse a altas temperaturas ni dejarse en contacto con las superficies de la maquinaria durante períodos demasiado largos (51).

La actividad del cloro está muy influida por la presencia de materia orgánica (45). Así pues, la cantidad de cloro añadida debe satisfacer la demanda de las sustancias presentes en el agua (punto de ruptura), como se representa en la figura 9.14, y dejar una cantidad de cloro residual disponible (9).



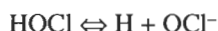
**Fig. 9.14. Características de la demanda del cloro del agua (9)**

Este cloro libre disponible es en la forma de ácido hipocloroso (HOCl) y de iones hipoclorosos ( $\text{OCl}^-$ ). El cloro combinado residual es el cloro que ha reaccionado con aminas nitrógeno (cloraminas). El cloro total disponible incluye el cloro libre y el cloro combinado (15).

El hipoclorito de sodio reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso e hidróxido de sodio:



La solución es, pues, alcalina, y el ácido hipocloroso forma por ionización iones hidrógeno y iones hipoclorosos:



El ácido hipocloroso puede disociarse y formar ácido clorhídrico y generar oxígeno:



El HOCl,  $\text{OCl}^-$  y O poseen propiedades germicidas. En solución ácida, el ácido hipocloroso tiende a permanecer en la forma de HOCl, que es más bactericida que el ion hipocloroso. De ahí que la eficacia bactericida de las soluciones de cloro sea más elevada en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas (figura 9.15) y que aumente con la temperatura (9).

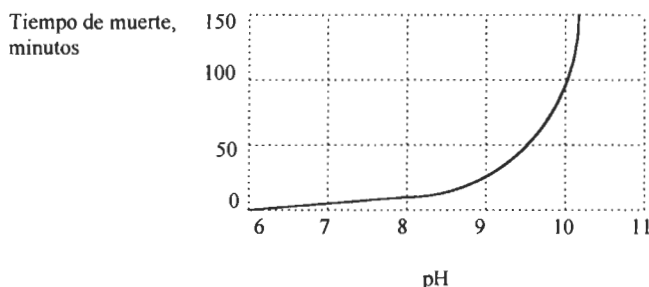


Fig. 9.15. Efecto del pH sobre la eficacia germicida de la solución de hipoclorito (9)

Se piensa que el HOCl puede penetrar la pared de la célula bacteriana e interferir con los enzimas que contienen sulfhidrilo que intervienen en el metabolismo de la glucosa. La inhibición de sistemas enzimáticos esenciales acarrea la muerte de la célula. El cloro puede dañar la membrana de la célula y ésta perderá sus compo-

mentos. También forma productos de sustitución con las proteínas y los aminoácidos (52).

Según Rosenkrantz (1973) el NaOCl es capaz de reaccionar con el ácido desoxirribonucleico de células vivas. Esta sustancia química causa mutaciones de *Salmonella typhimurium* por oxidación de partes de pirimidina y purina (Wlodkoxski y Rosenkrantz 1975).

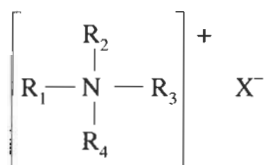
El efecto del cloro sobre las esporas de *Clostridium* y *Bacillus* fue investigado por Wyatt y Waites (1975), quienes descubrieron que el cloro rompe la corteza exterior de la espora y extrae la proteína al combinarse con ella con lo cual se inactiva el mecanismo de la germinación, mientras que en las esporas que permanecen capaces de germinar se produce suficiente daño para impedir su proliferación. La resistencia térmica de las esporas disminuye con el tratamiento clorado.

Así, el tratamiento de las esporas de *B. cereus* con una solución al 0,25% de NaOCl a 20 °C durante 19,5 minutos produce una pérdida de viabilidad del 99% (Kulikovsky y cols. 1975). Estos observadores notaron que las esporas perdían iones calcio, ácido dipicolínico, ácido ribonucleico y ácido desoxirribonucleico. El efecto principal era la degradación de la capa exterior de la espora con la consiguiente disrupción de las barreras impermeables normales. Por lo general, las esporas de *Bacillus* son más resistentes a la acción del cloro que las de *Clostridium* (9).

Para la desinfección del equipo, las agencias reguladoras suelen aconsejar una concentración de cloro de 100 a 200 mg/l con un tiempo de tratamiento de 2 minutos. En todo caso, el máximo se establece en 200 ppm de cloro activo (53).

## 2. Sales de amonio cuaternario

Las sales de amonio cuaternario (quats) presentan la fórmula general:



La R representa grupos orgánicos que van desde el metilo (CH<sub>3</sub>) hasta los grupos alifáticos de cadena larga (C<sub>8</sub>H<sub>17</sub> a C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>) y grupos fenilos. Para que exista poder bactericida al menos una R es un grupo alifático corriente o un grupo alifático de cadena larga de sustitución. La X representa un anión, tal como un haluro (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>), o sulfato o acetato (54). En la figura 9.16 podemos ver representadas las estructuras más características de este grupo (51).

Las sales de amonio cuaternario pueden ser bacteriostáticas a baja concentración y bactericidas a alta concentración (17). El efecto letal se atribuye a varias actividades,

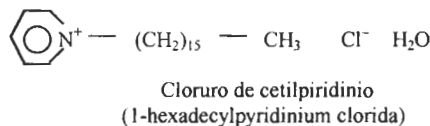
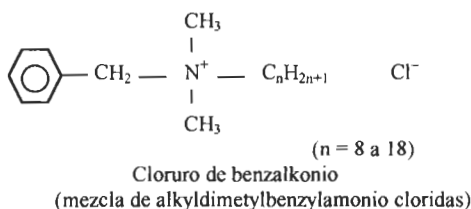
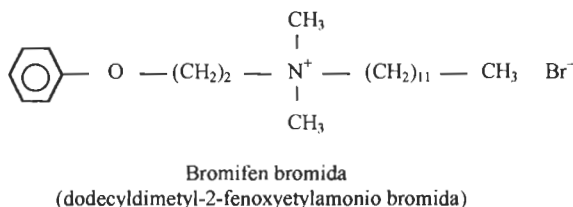
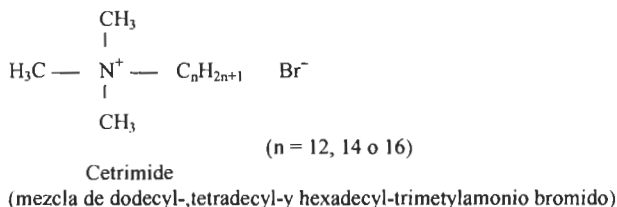


Fig. 9.16. Algunos compuestos importantes de amonio cuaternario (quats) (51)

entre ellas, las reacciones con las membranas celulares, la desnaturalización de las proteínas celulares esenciales o la inactivación enzimática.

Los efectos ejercidos sobre la membrana celular pueden ser atribuidos a la lisis de la membrana, a la inactivación enzimática de la membrana o a interferencias con el sistema de transporte.

Los microorganismos que aparecen por vía natural pueden ser más resistentes a los quats y otros desinfectantes que los cultivos de laboratorio. Algunas cepas de *Pseudomonas* y de *Xanthomonas* crecen a partir de determinados quats como una sola fuente de carbono (Dean-Raymond y Alexander 1977).

Los compuestos amoniacaes cuaternarios, cuando se usan como agentes desinfectantes, presentan ventajas y desventajas a la vez. Estas son consignadas en la tabla 9.7.

**Tabla 9.7. Ventajas y desventajas de los compuestos de amonio cuaternario como desinfectantes (9)**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estables.</li> <li>● Larga longevidad comercial.</li> <li>● Termoestables.</li> <li>● Eficaces en condiciones alcalinas.</li> <li>● No corrosivos.</li> <li>● Inodoros.</li> <li>● Menos afectados por la materia orgánica.</li> <li>● Efecto bacterioestático residual.</li> <li>● No irritan la piel.</li> <li>● Fáciles de aplicar y controlar.</li> <li>● Controlan los olores anormales.</li> <li>● No tóxicos.</li> <li>● Buenas propiedades de penetración.</li> <li>● Combinados con no iónicos en los agentes detergentes desinfectantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incompatibles con los agentes aniónicos en los detergentes.</li> <li>● Caro.</li> <li>● Actividad reducida en agua dura.</li> <li>● Actividad menos eficaz contra esporas y bacteriófagos, y también contra coliformes y psicrótrofos.</li> <li>● Necesidad de enjuagar la película residual que dejan sobre la maquinaria.</li> <li>● Problemas de formación de espuma en su aplicación mecánica.</li> </ul>

Los quats son menos eficaces que los hipocloritos en la destrucción de las esporas bacterianas o las bacterias gramnegativas, incluidos los coliformes y los psicrótrofos, y tienen una actividad netamente más reducida contra los bacteriófagos. No obstante, con la adición de determinados agentes secuestradores, se obtiene una actividad viricida netamente más elevada. En general, los quats son muy eficaces contra las bacterias grampositivas.

Frecuentemente se utiliza una dosis de 200 ppm.

Cabe destacar, entre sus principales aplicaciones, las siguientes:

- Saneamiento de establecimientos de alimentación.
- Industria aceitera y láctea.
- Desodorización de bodegas y locales cerrados.
- Esterilización de locales y útiles en plantas vinícolas.
- Limpieza de equipos en la industria conservera y cárnica.
- Lavado de frutas, legumbres, verduras y carnes para la industria conservera.
- Lavado de cítricos para eliminar productos céreos.
- Esterilización de establos y granjas avícolas.
- Conservación de pescados (pulverización sobre el hielo).
- Esterilización de cámaras frigoríficas.
- Esterilización de todo tipo de material de transporte (140).

Normalmente no deben existir residuos de quats en la maquinaria y otros equipos cuando se manufacturan los alimentos. Conviene, por tanto, enjuagar el equipo, de preferencia con agua clorada, después de la desinfección y antes de proceder al tratamiento de los alimentos (7, 9, 55, 91).

### 3. Biguanida polimérica

Pertenece al grupo de los tensoactivos catiónicos, aunque presenta características y propiedades distintas a las enumeradas para las sales de amonio cuaternario.

Presentan las ventajas de ser más activas que las sales de amonio cuaternario frente a las bacterias gramnegativas, no son espumantes y no se ven afectadas por la presencia de aguas duras.

Se las ha utilizado en combinación con las sales de amonio cuaternario o con detergentes no iónicos, sobre todo en la industria cervecera.

Presentan un amplio espectro bactericida. Junto con la clorohexidina suelen ser las más efectivas frente a *Pseudomonas P.* que las sales de amonio cuaternario.

Debe considerarse que no pueden formularse con álcalis (140).

### 4. Compuestos iodóforos

El yodo presenta propiedades germicidas indiscutibles contra una gran variedad de microorganismos. No obstante, su corrosividad, toxicidad, inestabilidad y baja hidrosolubilidad, amén de otras características inadmisibles, reducen su aplicación en las plantas industriales de alimentos (9).

Las combinaciones débiles formadas entre yodo y agentes superficiales activos actúan como portadores y contribuyen a la solubilización del yodo (45). Al producto resultante fruto de estas combinaciones se le denomina yodóforo (27). El agente super-

**Tabla 9.8. Ventajas y desventajas de los yodóforos como desinfectantes (9)**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Buena estabilidad.</li> <li>● Larga longevidad comercial.</li> <li>● Actividad superficial.</li> <li>● Generalmente activos contra todos los microorganismos con excepción de las esporas bacterianas y bacteriófagos.</li> <li>● Destruyen las células de levaduras más rápidamente que los hipocloritos.</li> <li>● Inalterados por las sales de las aguas duras.</li> <li>● Relativamente no tóxicos.</li> <li>● No corrosivos.</li> <li>● No penetran en la piel.</li> <li>● Buenas propiedades de penetración y difusión.</li> <li>● Su naturaleza ácida impide la formación de una película mineral.</li> <li>● Indicador de calor incorporado.</li> <li>● Concentración fácilmente determinable.</li> <li>● Menos sensibles que los hipocloritos a la materia orgánica.</li> <li>● Fáciles de limpiar y controlar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La eficacia disminuye cuando aumenta el pH, como ocurre en el residuo de las soluciones alcalinas de detergentes.</li> <li>● Menos eficaces que el cloro contra las esporas de bacterias y bacteriófagos.</li> <li>● Pueden producir sabores anormales en los productos lácteos.</li> <li>● Se recomienda no usarlos por encima de 40° C.</li> <li>● Pueden causar decoloración.</li> <li>● Más caros que el cloro.</li> <li>● Provocan manchas en ciertos materiales, tales como los envoltorios de plástico.</li> </ul>

ficial activo puede ser no iónico, catiónico o aniónico, pero algunos tipos no iónicos son los preferidos (54). Las ventajas y desventajas inherentes al uso de los yodóforos en tanto que desinfectantes son consignados en la tabla 9.8.

Al igual que ocurre con los hipocloritos, los yodóforos presentan mayor actividad bactericida a pH ácidos (tabla 9.9).

**Tabla 9.9. Efecto del pH sobre la actividad antimicrobiana en compuestos de yodo (51)**

pH	Forma activa	Comentario
Ácido	$I_2$ (yodo diatómico)	Fuertemente bactericida
Neutro	Ácido hipoyodoso	Menos bactericida
Alcalino	Ion hipoyodito Yodato ( $IO_3^-$ ), yodito ( $I^-$ ) e iones tri-yodo ( $I_3^-$ )	Igual menos bactericida } No biocida

Es por ello que se añaden al desinfectante soluciones tampón de ácido fosfórico para mantener el pH entre 4,0 y 5,0 (45).

En combinación con el yodóforo, el yodo mantiene sus propiedades germicidas, incluso a nivel más elevado, pero el olor característico del yodo es eliminado. A la dilución recomendada, la solución yodófora presenta un bello color ámbar, que va palideciendo a medida que se va usando la solución. Este color es el mejor indicador de la eficacia de los yodóforos (9).

Los yodóforos presentan buena estabilidad y larga longevidad. El elevado grado de actividad superficial les da un buen poder de penetración y de difusión y asegura además un rápido drenaje. Impide también la formación de películas de minerales puesto que éstos son solubilizados por el carácter ácido de los yodóforos (9, 51).

La concentración máxima permitida por USDA y FDA con o sin aclarado para los yodóforos sobre superficies que contacten con los alimentos es de 25 ppm (61).

Los yodóforos no pueden utilizarse a temperaturas superiores a los 40 °C puesto que se produce sublimación del yodo, con la consiguiente pérdida de eficacia.

A pesar de sus buenas propiedades germicidas, los yodóforos son menos eficaces que los hipocloritos contra las esporas bacterianas y los bacteriófagos.

La reacción de la materia orgánica es menos viva que la de los hipocloritos y el poder germicida es reducido por el almidón (9).

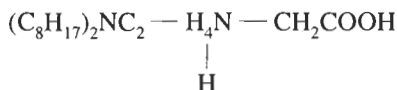
### 5. Anfóteros

Los agentes anfotéricos son compuestos que mezclan las características de los tensioactivos aniónicos y catiónicos (51).

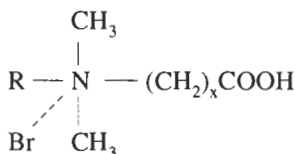
Ellos combinan las propiedades detergentes de los compuestos aniónicos con las propiedades bactericidas de los compuestos catiónicos (56). Su actividad antibacteria-

na permanece virtualmente constante en un amplio rango de pH y son menos rápidamente inactivados que los quats por las proteínas (57).

Están comercializados bajo el nombre genérico de «Tego» (51). Estos productos son sales de dioctilaminoetilglicina



Stedman y colaboradores han preparado y testado un largo número de compuestos representados con la fórmula genérica:



Donde R representa el grupo alquilo principal y x variados desde 1 a 8 (56). Algunos compuestos testados han dado como resultado una potente acción germicida (54).

Los compuestos Tego son bactericidas frente a grampositivas y gramnegativas, distintamente de los quats, y agentes aniónicos y no-iónicos, estos incluyen las mycobacterias, aunque no matan estos organismos de la misma manera que lo hacen otros compuestos de mayor potencia bactericida (51).

Entre las ventajas que presentan cabe decir que son compatibles con todos los tipos de tensoactivos. Se adsorben en superficies positivas o negativas sin formar films hidrofóbicos.

También se les clasifica en función del pH; en dependientes o no del pH. Los compuestos anfotéricos dependientes del pH presentan propiedades de aniónicos a pH alto y de catiónicos a pH bajo. En las proximidades del punto isoeléctrico son anfotéricos presentando mínima solubilidad en agua y mínimo poder espumante, detergente y humectante.

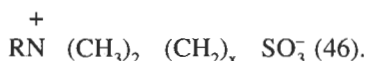
Los más importantes son los siguientes:

- Ácidos  $\text{N}$ -alquilaminopropiónico  $\text{R} - \overset{+}{\text{N}}\text{H}_2\text{CH} - \text{CH}_2\text{COO}^-$
- Ácidos  $\text{N}$ -alquil- iminodipropiónico  $\text{RNH} \begin{array}{l} + \text{CH}_2\text{COO}^- \\ + \text{CH}_2\text{COOH} \end{array}$
- Carboxilatos de imidazolina
- $\text{N}$ -alquilbetainas,  $\text{RN}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$



Los anfotéricos no dependientes del pH no se comportan como catiónicos o aniónicos puros a ningún valor de pH.

El grupo más destacable es el de sulfobetainas, sultainas,



## 6. Aldehídos

Destacan fundamentalmente el formaldehído y el glutaraldehído. Se les asocia a tensoactivos principalmente catiónicos.

Sus características generales son las siguientes:

El espectro bactericida que abarcan incluye bacterias, hongos y virus, siendo activo frente a esporas, como en el caso del glutaraldehído.

Actúan en un rango de pH amplio si son convenientemente combinados.

Deben ser utilizados a temperaturas bajas debido a su volatilidad e inflamabilidad.

Son corrosivos frente a ciertos materiales, e incluso pueden llegar a ser irritantes.

Cabe decir que en cuanto a su estabilidad son relativamente estables, llegando a polimerizarse a pH básico el glutaraldehído. Son estables en aguas duras y no parecen ser sensibles ante las proteínas. Además poseen la característica de poderseles almacenar incluso durante períodos prolongados de tiempo permaneciendo estables.

### 6.1. Formaldehído

La disolución acuosa del formaldehído (30-37%) con metanol (10%) se conoce como formol.

El formaldehído se utiliza tanto en estado líquido como gaseoso. En el estado gaseoso tiene un gran poder de penetración.

Su mecanismo de actuación se lleva a cabo sobre los grupos amino de las proteínas y aminoácidos contenidos en la célula, con formación de puentes metileno. La reacción es irreversible con los ácidos nucleicos.

Su actividad aumenta cuando se vaporiza en atmósferas con un alto grado de humedad. El formaldehído se puede obtener por reacción del formol con permanganato liberándose vapor de agua y, en consecuencia, provocándose un aumento de la humedad. Otra manera de obtener el formaldehído es por calentamiento del paraformaldehído, lo cual requiere una cierta humedad adicional.

Debido a que el formaldehído puede polimerizarse sobre superficies frías, es importante cumplir el requisito de calentar los almacenes hasta 15 °C antes de fumigar, evitándose así reducir su eficacia desinfectante.

En la fumigación se producen vapores irritantes y olor picante, por lo que se ha de hacer en ausencia de personas. El formaldehído se considera un producto cancerígeno y debe tratarse con cuidado.

Se suele aplicar por fumigación en la desinfección de cámaras de almacenamiento de productos alimenticios perecederos.

Las dosis oscilan entre 30 ml de formol/m<sup>3</sup>, para cámaras vacías, y 45 ml formol/m<sup>3</sup>, para cámaras con envases.

Las dosis en solución acuosa generalmente están comprendidas entre un 1 y un 2%.

## 6.2. Glutaraldehído

Se caracteriza por ser un producto de baja tensión superficial con cualidades detergentes y humectantes.

Tiene una gran poder de penetración y se sensibiliza mucho con las altas temperaturas. Además es un desinfectante residual y muy activo.

Destaca su actuación sobre *Cladosporium herbarum*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus nigricans* y *Mucor*, en cámaras de almacenamiento de productos vegetales (140).

## 7. Compuestos liberadores de oxígeno

### 7.1. Ozono

La propiedad del ozono (O<sub>3</sub>) como desinfectante radica en el fuerte poder oxidante que posee. Actúa sobre los sistemas enzimáticos de manera irreversible.

Es muy poco estable descomponiéndose en presencia de oxígeno.

Su ataque hacia los microorganismos se centra en la materia orgánica de los mismos, aumentando su efecto bactericida con la humedad.

Actúa mejor sobre las bacterias grampositivas que sobre las gramnegativas.

Requiere de un aparato ozonizador para su preparación.

Las dosis para una desodorización oscilan entre 1 y 3 mg/kg de aire. Mientras que para una desinfección oscilan entre 5 y 7 mg/kg de aire. Así mismo, las dosis para una acción bactericida oscilan entre 0,04 y 13 ppm.

Cabe decir que concentraciones entre 1 y 2 g/m<sup>3</sup> causan interrupciones y alteraciones enzimáticas.

Por otra parte, concentraciones entre 0,2 y 0,8 mg/m<sup>3</sup>, empiezan a ser peligrosas para las personas.

Uno de los usos del ozono es en la esterilización del agua, la cual debe ser filtrada previamente. Las dosis utilizadas para dichos usos oscilan entre 1 y 3 mg de ozono/litro de agua.

Debe tenerse en cuenta el efecto oxidante sobre las conducciones metálicas tras la ozonización del agua (141).

### 7.2. Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) es cada vez más utilizado en la industria alimentaria (58).

Se emplea con fines de oxidación, desinfección y esterilización de instalaciones agroalimentarias, en el abastecimiento de agua y en tratamiento de aguas residuales (141).

Desde hace tiempo se ha utilizado para la esterilización de materiales de envase, especialmente films destinados a envasado aséptico. Su efectividad depende de la concentración, la temperatura, tiempo de contacto y la presencia de tensioactivos que permiten que el peróxido de hidrógeno moje toda la superficie a esterilizar (29).

El peróxido de hidrógeno es usado apropiadamente como agente bactericida, esporicida y virucida (51).

Aunque la acción antibacteriana del peróxido de hidrógeno en general se atribuye a su capacidad oxidante, es probable que la formación del radical oxhidrilo (\*OH) del peróxido en una reacción dependiente del hierro sea responsable de la mayor parte de esta actividad.



A niveles no letales en condiciones aerobias, el peróxido de hidrógeno corta de forma directa el DNA, lo que provoca un daño que es reparado por una vía de reparación de la incisión que requiere a la DNA polimerasa Y. Como desinfectante de materiales inertes el peróxido de hidrógeno es un agente muy útil y efectivo (45).

El peróxido de hidrógeno actúa principalmente contra las bacterias, ya que levaduras y otros microorganismos necesitan altas concentraciones para matarlos.

La concentración de uso de este producto varía entre 50 a 200 ppm. *Clostridium* y *Staphylococcus aureus* son más sensibles que formas aeróbicas esporuladas y bacterias gramnegativas (52).

La dosificación en desinfección por inmersión, oscila entre el 0,1 y 0,2% durante cuatro horas.

Cuando se trata de desinfección por reposo, la dosis oscila entre el 0,01 y 0,05%, con un tiempo de reposo de 12 horas.

En el caso del lavado de botellas, en el último aclarado se utiliza una dosis del 0,002 al 0,005%.

Por último, en la desinfección de superficies, éstas son tratadas con una dosis comprendida entre 0,1 y 0,2%, según el tiempo que permanezca en contacto la solución con la superficie (141).

Entre las ventajas más notorias del peróxido de hidrógeno están el amplio espectro de actividad y la rapidez de acción del producto. También presenta ciertas desventajas como son:

- Débil estabilidad.
- Corrosividad frente a numerosos materiales. En el caso del acero inoxidable la corrosión que se produce es debida a la acción del producto y a la presencia de  $\text{Cl}^-$  en el agua de dilución; ellos son, sin embargo, mucho menos corrosivos que otros productos oxigenados como el A.P.A. (ácido peracético) (60).
- Atacan la piel (59).

### 7.3. Ácido paracético

Suele ser mezclado con peróxido de hidrógeno, caracterizándose entonces por la necesidad de bajas concentraciones de producto para conseguir una buena eficacia frente a todo tipo de microorganismos y actuando en frío.

Posee una prolongada acción germicida. A mayores temperaturas se reduce el tiempo de actuación.

Se caracteriza por un olor picante en estado puro del producto.

Es inestable en presencia de materia orgánica y a altas temperaturas.

No obstante, entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el producto permanece estable, aunque no debe ser expuesto a la luz y los envases que contienen el producto deben estar totalmente cerrados.

En el caso de tener que cambiar de envase el producto, el nuevo envase deberá limpiarse con un detergente ácido, previamente.

Cabe decir que su actividad aumenta en función del aumento del pH, así como en función de la temperatura.

Es corrosivo a bajas concentraciones y no presenta apenas toxicidad.

A concentraciones superiores al 2,5% se originan irritaciones en la piel humana.

Su principal aplicación está en el contacto directo de superficies en circuitos, equipos, etc.

Las dosis utilizadas oscilan entre 0,5 y 3%, con unas temperaturas entre los 5 y  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (141).

### 7.4. Permanganato potásico

Su utilización no ha sido muy profusa, aunque cada día toma mayor relevancia debido a sus particulares características de actuación. Su principal aplicación se encuentra en el tratamiento de aguas, actuando como un enérgico oxidante.

Entre sus características más destacables, cabe decir: que se comporta como bactericida y algicida, que elimina del agua diversos contaminantes, como son el  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Cn}^{-}$ , etc., que elimina sabores y olores producidos por compuestos orgánicos, que no comunica sabores ni olores a las aguas tratadas, que el  $\text{MnO}_2$  que se forma en el tratamiento elimina las impurezas de tipo catiónicas por adsorción, que su manipulación no comporta peligro alguno, que es fácilmente detectable por su color y es económico.

En las aguas que existan fenoles se desaconseja la percloración antes del permanganato, ya que se formarían clorofenoles, caracterizándose el agua por un sabor y olores característicos, además de disminuir la acción del permanganato.

El método más efectivo para el tratamiento de aguas es la acción conjunta del permanganato y cloro.

La variabilidad del pH del agua es el factor más importante en la eficacia del permanganato, ya que dependiendo del pH variará la degradación de los productos del permanganato.

Para el intervalo más frecuente de pH ( $2 < \text{pH} < 11$ ), el  $\text{MnO}_2$  formado se elimina por coagulación, sedimentación y filtración.

El proceso de oxidación de la materia orgánica se ve acelerado a medida que aumenta el pH de 5 a 11,5.

El permanganato actúa sobre cualquier tipo de alga, superando sobradamente al sulfato de cobre.

### 8. Fenoles

Los fenoles se han utilizado como agentes desinfectantes desde la antigüedad. Se caracterizan por ser potentes bactericidas y se usan de forma genérica.

No se emplean en la industria alimentaria debido a que desprenden fuertes olores y comunican aromas y sabores extraños si contactan con los alimentos (141).

Las propiedades generales de los desinfectantes dependen de numerosos factores, los cuales determinarán la eficacia del mismo. En la tabla 9.10 se ha representado la eficacia comparativa de los diversos desinfectantes de uso más frecuente en las industrias alimentarias.

Tabla 9.10. Eficacia comparativa de desinfectantes (10)

	Peróxido de hidrógeno	Quats	Anfóteros	Clorados	Yodados
<b>Eficacia</b>					
Bacterias					
Gram +	+	+	+	+	+
Gram -	+	(-)	(-)	+	+
Esporas	(-)	-	-	(+)	(+)
Levaduras-mohos	(-)	+	+	(+)	+
Virus	(+)	(-)	(+)	+	+
Bacteriófagos	(-)	-	-	+	+
Acción a baja temperatura	(-)	(+)	(+)	+	+
<b>Utilización</b>					
pH de uso	7	7	11	13	5
	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	8 H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
Influencia de la materia orgánica	(-)	(-)	(-)	-	(-)
Corrosión	+	+	+	(+)	(+)
Espuma	+	-	-	+	(-)
Residuos tóxicos	+	(-)	(-)	+	(+)
Enjuagabilidad	+	(-)	(-)	+	+

La inactivación ejercida, ante la presencia de diversos factores, sobre algunos de estos desinfectantes viene representada en la tabla 9.11. La inactivación producida por dichas causas supone una merma en la eficacia de los desinfectantes, que tendrá que ser tenida en cuenta a la hora de hacer una evaluación de eficacia en condiciones de uso real para dichos desinfectantes (132, 133, 134, 135, 136, 137).

**Tabla 9.11. Influencia de algunos factores sobre la inactivación de desinfectantes (tabla extraída de Collins 1989) (55)**

	Inactivado por				
	Proteínas	Materias primas	Materiales fabricados por el hombre	Agua dura	Detergente
Hipocloritos	+++	+	+	+	C
Yodóforos	+++	+	+	+	A
Quats	+++	+++	++	+++	A (C)

+++ Bueno ++ Regular + Débil - Nulo  
G Gram C Catiónico A Aniónico

## 9.11. HIGIENE AMBIENTAL

Son varios los parámetros a tener en cuenta para suprimir o limitar los riesgos asociados a la contaminación ambiental. Dichos parámetros, de forma genérica, se podrían enumerar de la siguiente manera:

1. Tratamiento de locales.
  - Separación física entre las zonas causantes de contaminación y las zonas de riesgo.
  - Tratamiento de superficies no aéreas (suelos, paredes, techos, equipos, útiles diversos, etc.).
2. Higiene de la producción.
  - Evitar todo cruce de flujos.
  - Formación del personal de producción y mantenimiento, en temas de higiene.
  - Plan de limpieza y desinfección en las líneas de producción y en los locales de trabajo.
3. Tratamiento del aire.
  - Filtración, climatización y sobrepresión focalizada sobre las zonas de riesgo y depresión en las zonas que presentan población con el fin de evitar la recontaminación exógena de las zonas de riesgo.
  - Renovación del aire en las zonas de riesgo para evacuar la contaminación endógena.

- Desinfección fumígena por vía aérea para la desinfección terminal y la desinfección continua de las zonas de riesgo (aire y superficies), y para el descenso de la presión contaminante en las zonas afectadas (aire) (142).

### 9.11.1. FILTRACIÓN DEL AIRE

La creciente necesidad de trabajar en condiciones de alta calidad higiénica de elaboración de los productos alimenticios ha provocado que cada vez sean más las industrias que trabajen con «Salas Limpias» o «Salas Blancas».

La clasificación de las distintas clases de salas blancas es la siguiente:

- Clase 1.
- Clase 10.
- Clase 100.
- Clase 1.000.
- Clase 10.000.
- Clase 100.000.

Cada clase se establece atendiendo al número de partículas por pie cúbico y el tamaño de las mismas, según las normas US Federal Standard 209 D-1988 (ver tabla 9.12) o las normas AFNOR NF X 44-101.

**Tabla 9.12. Clasificación higiénica de las salas blancas o «Ambiente Limpio», según la norma FS 209 D (107)**

Clase	Número máximo por m <sup>3</sup> de partículas en suspensión (tamaño en µ)				
	0,1	0,2	0,3	0,5	5
1	124	26	10	4	0
10	1.240	260	100	40	0
100		2.600	1.000	400	3
1.000				4.000	30
10.000				40.000	300
100.000				400.000	3.000

Según estas normas, las industrias alimentarias se encuentran clasificadas entre las clases 1.000 y 100.000.

Así pues, la finalidad de la filtración del aire será el mantener estos límites asegurados permanentemente. Para ello, se hace necesario disponer del tipo de filtro adecuado.

La eficacia del filtro dependerá de la capacidad de retención de las partículas suspendidas. Las cuales serán soporte de los microorganismos que estén en suspensión en el ambiente de la zona de trabajo o producción.

La eficacia de la filtración se clasifica teniendo en cuenta el tamaño de cada partícula en tanto por cien.

Existen tres métodos de ensayo para la determinación de la eficacia del filtro. Dichos métodos son: ASHRAE gravimétrico, ASHRAE opacimétrico y la prueba D.O.P., todos ellos explicados en el capítulo 40 del ASHRAE Handbook 1991 Applications.

La tabla 9.13 muestra la eficacia de los filtros según estos métodos.

**Tabla 9.13. Eficacia de los filtros en función del método de medida (107)**

Partícula	Partículas retenidas en tanto por ciento			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1 $\mu$	< 65	65	90	98
3 $\mu$	< 90	90	95	99,5
5 $\mu$	< 95	95	99,5	99,9

Se recomienda colocar filtros absolutos en cada zona de las clases 1.000 y 10.000, mientras que para la clase 100.000 basta con instalar un filtro absoluto en la zona central de tratamiento.

Generalmente se suelen utilizar prefiltros cuando se disponen de filtros de alta eficacia.

Un concepto importante es el que se conoce como tasa de renovación del aire, que define el número de veces que el volumen total de aire de la sala circula a través de la instalación que se trata.

Los valores oscilan dependiendo del tipo de clase del que se trate. Así, por ejemplo, para una sala de clase 100.000 la tasa de renovación oscila entre 15 y 30, mientras que para una de clase 1.000 está comprendida entre 40 y 80. De la misma manera, para una de clase 100 llega hasta un valor de 400 volúmenes.

También depende de la clase el sistema a utilizar para la aireación de las salas. De esta manera, se utilizan sistemas de flujo laminar para la clase 100 o inferior. Mientras que, para las clases superiores se emplean sistemas de flujo turbulento o combinaciones de ambos sistemas.

El sistema de flujo laminar se caracteriza por que los flujos de aire circulan a la misma velocidad, en el mismo sentido y son paralelos. Mientras que el sistema de flujo turbulento no se haya canalizado y este circula hasta cualquier punto del local (107, 131).

### 9.11.2. DESINFECCIÓN FUMÍGENA

Cabe hacer dos distinciones:

#### 1. Desinfección terminal.

Suele utilizarse para la desinfección total y masiva, en ausencia de personas. Se recomienda utilizarla una vez por semana en las plantas de producción y en-



vasado, mediante microdifusión electrotérmica. Se emplean productos químicos a base de formol estabilizado.

Se emiten al ambiente dosis de alrededor de 4 g de formol/m<sup>3</sup>, expresado en formol monómero. El tiempo de recuperación a respetar es de 6 a 8 horas.

Se puede decir que la microdifusión presenta una gran ventaja frente a la dosificación en forma de gas, ya que evita la polimerización en compuestos inactivos, que forman depósitos sobre las superficies, los cuales se desprenden a la atmósfera en forma de monómeros irritantes. Con el objetivo de que este fenómeno no ocurra, deben tratarse las superficies con amoníaco, el cual presenta la propiedad de neutralizar dichos compuestos. Todo ello, supone un coste añadido.

## 2. Desinfección continua.

Se trata de la desinfección de locales que no pueden ser desocupados por el personal del local, con lo que no es posible utilizar la desinfección terminal. El período de recuperación de estos productos es de sólo dos horas, característica que se hace del todo necesaria dada la situación.

En las instalaciones de fabricación y envasado de productos alimenticios se realiza a diario.

La composición de los productos utilizados están formulados a base de derivados fenólicos. Dichos productos presentan una gran actividad bactericida-fungicida y baja toxicidad.

## 3. Desinfección en presencia de personas.

Se emplea cuando se ha desestimado una desinfección continua, debido a la imposibilidad de parar el proceso de fabricación, aunque se necesitan unos niveles mínimos de higiene.

Los compuestos de los productos utilizados son a base de parabenos y aceites esenciales. Estos compuestos, además de desinfectar, presentan la peculiaridad de actuar como desodorizantes ambientales. De esta manera, son bien aceptados por el personal de la planta (8).

En general, los aerosoles se pueden destinar al tratamiento fungiestático de las zonas contaminadas, al tratamiento fungicida y bactericida/fungicida de las zonas de riesgo (142).

Debe tenerse muy en cuenta una propiedad que presentan los agentes antifúngicos, la cual asocia la disminución de la concentración del agente antifúngico con la siguiente ecuación:

$$C_t = C_{t_0} e^{-R(t - t_0)}$$

Donde, R es la tasa de renovación del aire por unidad de tiempo. Los valores que toma ésta, para locales con puertas y ventanas cerradas, oscila entre 1,5 y 3 veces. Si se abre parcialmente una puerta o ventana del local, el valor de R aumenta entre 5 y 6 veces más. Entonces, la concentración de agente activo desciende del 13% al 5% en una hora más o menos (107).

### **9.11.3. RADIACIONES ULTRAVIOLETA (UV)**

El espectro germicida de la radiaciones ultravioleta se haya comprendido entre longitudes de onda 200 nm y 280 nm.

La mayoría de las lámparas germicidas tienen el máximo de emisión en 253,7 nm. Además, los cristales de las lámparas absorben las radiaciones inferiores a los 200 nm, que son perjudiciales para el hombre y causan la aparición de ozono.

Su máxima eficacia se alcanza en condiciones de humedad relativa inferiores al 65%. De esta manera, humedades relativas superiores al 80%, así como el polvo en suspensión ambiental o sobre la lámpara, provocan una reducción considerable en la eficacia del efecto.

La distancia máxima a la que las lámparas son efectivas por su efecto germicida, está comprendida entre 20 y 30 cm (107, 143).