

**AVANCES EN LOS SISTEMAS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN APLICADOS  
EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

**MIGUEL SANTIAGO BUSTAMANTE ALZATE**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MEDELLÍN  
2014**

**AVANCES EN LOS SISTEMAS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN APLICADOS  
EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

**MIGUEL SANTIAGO BUSTAMANTE ALZATE**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico**

**Director  
LINA MARÍA VÉLEZ ACOSTA  
Ingeniera de Alimentos, Magíster en Desarrollo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MEDELLÍN  
2014**

**Medellín, 28 de julio de 2014**

**Miguel Santiago Bustamante**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma



---

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. SEGURIDAD ALIMENTARIA EN COLOMBIA .....	3
2. LIMPIEZA .....	6
2.1. LIMPIEZA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.....	6
2.2. AGENTES LIMPIADORES.....	9
2.2.1. Agentes limpiadores de uso frecuente en la industria de alimentos. ...	11
2.2.1.1. Limpiadores fuertemente alcalinos. ....	11
2.2.1.2. Limpiadores alcalinos para trabajo pesado: poder disolvente.....	11
2.2.1.3. Limpiadores alcalinos suaves.....	12
2.2.1.4. Limpiadores ácidos fuertes.....	12
2.2.1.5. Limpiadores ácidos suaves.....	12
2.2.1.6. Secuestrantes. ....	12
2.2.1.7. Surfactantes.....	13
2.3. AVANCES EN AGENTES LIMPIADORES .....	13
2.3.1. Enzimas .....	14
2.3.2. Sistema de “rascado”.....	14
2.3.3. Otros agentes.....	15
3. DESINFECCIÓN .....	16
3.1. RELACIÓN ENTRE LOS MICROORGANISMOS Y LOS ALIMENTOS.....	16
3.1.1. Mohos.....	17
3.1.2. Levaduras.....	18
3.1.3. Bacterias.....	19
3.1.4. Virus.....	21
3.2. FACTORES QUE PROPICIAN EL CRECIMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS EN LOS ALIMENTOS .....	22
3.2.1. Factores extrínsecos .....	22
3.2.1.1. Temperatura.....	22
3.2.1.2. Disponibilidad de oxígeno.....	23
3.2.1.3. Humedad relativa.....	23

3.2.2.	Factores intrínsecos.....	23
3.2.2.1.	Actividad de agua.....	23
3.2.2.2.	pH.....	24
3.2.2.3.	Potencial de óxido-reducción.....	25
3.2.2.4.	Requerimientos nutricionales.....	26
3.2.2.5.	Sustancias inhibidoras.....	26
3.3.	FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	27
3.4.	AGENTES DESINFECTANTES.....	29
3.4.1.	Tratamientos físicos.....	30
3.4.1.1.	Tratamiento térmico.....	30
3.4.1.2.	Radiación.....	32
3.4.2.	Compuestos químicos.....	34
3.4.2.1.	Compuestos a base de cloro.....	35
3.4.2.2.	Compuestos a base de yodo.....	37
3.4.2.3.	Desinfectantes a base de ácidos orgánicos.....	39
3.4.2.4.	Biguanidas.....	40
3.4.2.5.	Alcoholes.....	40
3.4.2.6.	Aldehídos.....	40
3.4.2.7.	Bisfenoles.....	41
3.5.	AVANCES EN AGENTES DESINFECTANTES.....	41
3.5.1.	Ozono.....	42
3.5.2.	Ultrasonido.....	45
3.5.3.	Agua electrolizada oxidante.....	47
3.5.4.	Desinfección por dióxido de carbono a alta presión (HPCD).....	50
3.5.5.	Bacteriófagos.....	53
4.	CONCLUSIONES.....	54
	BIBLIOGRAFÍA.....	55

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Origen, tipo y composición de la suciedad según el tipo de alimento.....	7
<b>Tabla 2.</b> Relación entre el tipo de suciedad, su solubilidad, facilidad de remoción y efectos del calentamiento de la superficie sobre la que se deposita .....	8
<b>Tabla 3.</b> Efectividad relativa de algunos agentes limpiadores respecto a las funciones que deben cumplir .....	11
<b>Tabla 4.</b> Valores de $a_w$ mínimos (aproximados) para el crecimiento de microorganismos	24
<b>Tabla 5.</b> Limitaciones en el uso de radiación ionizante para el tratamiento de alimentos .	34
<b>Tabla 6.</b> Origen, tipo y composición de la suciedad según el tipo de alimento.....	52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Rango de pH óptimo para el crecimiento de algunos microorganismos .....	25
<b>Figura 2.</b> Esquema de un generador de agua electrolizada y los compuestos producidos .....	48

## INTRODUCCIÓN

En 2013 existían en el mundo alrededor de 7 mil millones de personas<sup>1</sup>, todas con la necesidad de consumir alimentos para poder nutrirse y cumplir las funciones vitales del organismo. Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, las personas tienen derecho a esperar que los alimentos que reciban sean aptos para el consumo; aspecto de interés prioritario en las políticas públicas de la gran mayoría de países del mundo. La seguridad alimentaria, además de poner el interés en el tema de la inocuidad, también trata los aspectos de disponibilidad, acceso, consumo y aprovechamiento biológico<sup>2, 3</sup>.

Se calcula que al año mueren aproximadamente 1.8 millones de personas debido a enfermedades diarreicas cuya principal causa se debe a la ingesta de alimentos o agua contaminados. Adicionalmente, existen más de 200 enfermedades de transmisión alimentaria, conocidas como ETAs<sup>4</sup>.

La inocuidad es por tanto un factor fundamental dentro de la industria alimentaria, una ETA debida a un alimento mal elaborado o manipulado, puede causar, en el mejor de los casos, síntomas desagradables (diarrea, vomito, cólicos, entre otros) y en el peor, puede ser fatal. Adicional a esta situación, las ETAs y en general, la calidad de los alimentos pueden causar perjuicios al comercio y al turismo y provocar pérdidas de ingresos, desempleo y pleitos<sup>5</sup>, sobre todo en esta época en donde se ha incrementado el comercio internacional de alimentos. Como consecuencia de lo anterior, en el año 2000, la Organización Mundial de la Salud declaró a la prevención y control de ETAs una prioridad de salud pública<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> ONU. Día mundial de la población [En línea]. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 11 de julio de 2013 [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.un.org/es/events/populationday/>>

<sup>2</sup> FAO. ¿Qué es la seguridad alimentaria y nutricional? [En línea]. FAO. [citado en 2 de octubre de 2013]. Disponible en internet: <<http://coin.fao.org/cms/world/guatemala/PaginalNicial/SeguridadAlimentariaYNutricional.html>>

<sup>3</sup> OMS. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2007, p. 4

<sup>4</sup> OMS. 10 datos sobre la inocuidad de alimentos [En línea]. OMS. [Citado el 7 de abril de 2014]. Disponible en internet: <[http://www.who.int/features/factfiles/food\\_safety/facts/es/](http://www.who.int/features/factfiles/food_safety/facts/es/)>

<sup>5</sup> CODEX ALIMENTARIUS. CAC/RCP 1-1969 Principios generales de higiene de los alimentos [En línea]. Codex Committee on Food Hygiene, 2003 [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/>>

<sup>6</sup> OPOLSKI MEDEIROS, Caroline y otros. Assessment of the methodological strategies adopted by food safety training programmes for food service workers: A systematic review. En: Food Control. Agosto, 2011, vol. 22, no. 8, p.1136



Dentro de los riesgos asociados al consumo de alimentos se pueden citar tres categorías principales: riesgos físicos, riesgos químicos y riesgos microbiológicos, aunque en la actualidad se habla de un cuarto riesgo, el cual hace referencia a los alimentos con contenido alergénico para el ser humano<sup>7</sup>.

Para contrarrestar los efectos de la falta de la inocuidad en los alimentos es necesario tomar medidas que ayuden a disminuir y en algunos casos, eliminar los riesgos presentes, para esto es ideal implementar un sistema de gestión de la seguridad alimentaria o FSMS (Food Safety Management System), resultado de la implementación de guías y estándares disponibles y relevantes para el aseguramiento de la calidad y la inocuidad de los alimentos, como son, el *Codex Alimentarius*, legislación sanitaria local, guías sobre buenas prácticas, GLOBALGAP, BRC, IFS, entre muchas otras.<sup>8</sup>

La implementación de FSMS involucra la adopción de un plan de saneamiento en el que se incluye, entre otros, un programa de limpieza y desinfección, el cual, en conjunto con los demás requerimientos del sistema, se presenta como el principal responsable en la reducción de los riesgos asociados a los alimentos.

Dada la importancia que tiene hoy la implementación del programa de limpieza y desinfección en la industria de alimentos, la industria química ha realizado investigaciones y generado desarrollos en sustancias y métodos que permiten ser utilizados en las diferentes empresas adecuándose a sus necesidades.

El presente trabajo tiene como objeto generar un estado de arte de métodos utilizados como herramientas de soporte en el programa de limpieza y desinfección, además de la descripción se incluyen las tecnologías y tendencias emergentes en la materia en un periodo de revisión de 10 años a partir del 2003.

---

<sup>7</sup> ESCOBAR VALENCIA, Miriam. Conceptos básicos de calidad e inocuidad. En: Diplomado BPM-HACCP para industria de alimentos (16: 19 abril - 9 de agosto: Cali, Valle). Memorias. Universidad del Valle, 2013, p. 4

<sup>8</sup> KIREZIEVA, Klementina y otros. Assessment of food safety management systems in the global fresh produce chain. En: Food Research International. Junio, 2013, vol. 52, no. 1, p. 230

## 1. SEGURIDAD ALIMENTARIA EN COLOMBIA

Colombia, como país miembro de diferentes organizaciones internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Cultura FAO, la Organización Mundial del Comercio WTO, entre otras, las cuales fomentan el uso de FSMS para armonizar el comercio internacional de los productos alimenticios y asegurar la inocuidad de los mismos, ha implementado dentro de su marco legal, el decreto 3075 de 1997<sup>9</sup> y el decreto 60 de 2002.

Los FSMS involucran desde la implementación de buenas prácticas agrícolas y prácticas higiénicas en la producción primaria, buenas prácticas de manufactura, prácticas higiénicas y principios basados en HACCP durante el procesamiento y comercialización. Además se incluyen el equipo, los procedimientos, los programas, las herramientas, las políticas organizacionales y las personas necesarias para ejecutar, controlar y asegurar el cumplimiento de las actividades dirigidas a garantizar la seguridad química y microbiológica de los alimentos.<sup>10</sup>

El decreto 3075 es la normativa que regula todas las actividades que puedan generar riesgo por el consumo de alimentos. Dentro de este decreto se encuentran consagradas las buenas prácticas de manufactura alimentarias, que son los principios básicos y las prácticas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y se disminuyan los riesgos inherentes a la producción<sup>11</sup>.

El decreto 3075, que es de obligatorio cumplimiento para todas las industrias que procesen alimentos, presenta dentro de su normatividad cuenta con 2 tipos generales de BPM. Las que tratan del diseño sanitario y las que tratan de la operación.

---

<sup>9</sup> El 22 de julio de 2013, el Ministerio de Salud y Protección social publicó la resolución 2674 de 2013 la cual establece las nuevas condiciones sanitarias para para fabricar y comercializar alimentos y sus materias primas y que entró a regir en julio de 2014

<sup>10</sup> KIREZIEVA, Klementina y otros. Op. Cit., p. 230

<sup>11</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 (23, diciembre, 1997). Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1997. no 43205. Artículo 1

Las BPM relativas al diseño sanitario tratan los criterios técnico-sanitarios de diseño de fábricas de alimentos, tendientes a proteger la inocuidad de los productos. Dentro de las áreas de interés de diseño sanitario podemos encontrar:

- Localización y alrededores
- Instalaciones físicas
- Servicios industriales
- Servicios especiales
- Equipos y utensilios

En cuanto a la operación, se hace referencia a los planes y programas desarrollados con el propósito de mantener en forma permanente ambientes limpios y seguros para el procesamiento de alimentos. Se cuenta entonces con 10 programas de operación diarios:

- Programa de control de agua
- Programa de tratamiento de aguas residuales
- Programa de mantenimiento
- Programa de capacitación a manipuladores
- Programa de control a proveedores
- Plan de saneamiento
- Plan de aseguramiento de la calidad
- plan de muestreo y análisis de laboratorio
- Programa de etiquetado, trazabilidad e información al consumidor
- Programa de control de distribuidores<sup>12</sup>

Así mismo, el decreto 3075, en su artículo 25, sugiere el uso de un sistema de inocuidad alimentaria como el análisis de peligros y control de puntos críticos (HACCP) u otro tipo de sistemas que garanticen resultados similares<sup>13</sup>. El sistema HACCP es de obligatorio cumplimiento para productos de la pesca y acuicultura de importación y exportación, plantas de procesamiento de leche y centros de acopio de leche y plantas de beneficio de animales que exporten carne<sup>14</sup>. Es así como a través del decreto 60 de 2002, el gobierno nacional promueve la aplicación del sistema HACCP como método de aseguramiento de la inocuidad de alimentos

---

<sup>12</sup> ESCOBAR VALENCIA, Miriam. Op. cit., p. 22.

<sup>13</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 (23, diciembre, 1997). Op. cit., artículo 25

<sup>14</sup> COLOMBIA. SUBDIRECCIÓN DE SALUD NUTRICIONAL, ALIMENTOS Y BEBIDAS.

Documento plan de acción para el fortalecimiento del sistema nacional de gestión de inocuidad de los alimentos. Bogotá D.C.: Impresol, 2013, p. 17

y se establecen los requisitos para la certificación HACCP por parte de las autoridades sanitarias<sup>15</sup>.

El HACCP como instrumento de gestión de la inocuidad de los alimentos, emplea el procedimiento de control en puntos críticos, entendido como aquellas fases en las que debe aplicarse un control esencial para prevenir, eliminar o reducir a un nivel aceptable de un peligro relacionado con la inocuidad de los alimentos<sup>16</sup>.

El sistema HACCP se fundamenta en la aplicación de 7 principios encaminados a establecer peligros reales y potenciales, determinar los puntos de control crítico y los límites críticos, así como su sistema de monitoreo, acciones correctivas, registros y seguimiento de todo el plan<sup>17</sup>. Para lograr una certificación HACCP, es necesario el cumplimiento de unos programas prerrequisito, que básicamente consisten en los 10 programas y planes de operación diarios descritos anteriormente asociados a las BPM contempladas en el decreto 3075<sup>18</sup>.

La aplicación de cada uno de los programas y planes prerrequisito del plan HACCP asegura que los alimentos producidos, manipulados, preparados o servidos dentro de cualquier establecimiento dedicado a esta actividad cumpla con características de calidad y si a esto le sumamos los 7 principios, se podrá asegurar que los alimentos cumplen con las características de inocuidad para el ser humano.

Dentro de los programas y planes prerrequisito de HACCP es importante destacar, sin quitar mérito a ninguno otro, el plan de saneamiento, el cual incluye<sup>19</sup>:

- Programa de abastecimiento de agua
- Programa limpieza y desinfección
- Programa de manejo integrado de plagas
- Programa de desechos sólidos y líquidos

---

<sup>15</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 60 (18, enero, 2002). Por el cual se promueve la aplicación del sistema de análisis de peligros y puntos de control críticos - HACCP - en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2002. no 44686. Artículo 1.

<sup>16</sup> *Ibíd.*, artículo 3.

<sup>17</sup> *Ibíd.*, artículo 4.

<sup>18</sup> *Ibíd.*, artículo 5.

<sup>19</sup> *Ibíd.*, artículo 5.

## 2. LIMPIEZA

En este capítulo se hace una descripción de lo que involucra la limpieza en la industria de alimentos, se aborda la naturaleza de la suciedad, así como los agentes limpiadores y técnicas de aplicación que se usan para contrarrestarla. Adicionalmente, se introducen los nuevos avances en la tecnología de los productos de limpieza y sus técnicas.

### 2.1. LIMPIEZA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Dentro del ámbito de la industria de los alimentos, la limpieza es el proceso o la operación de eliminación de residuos de alimentos u otras materias extrañas o indeseables<sup>20</sup>. Si bien, la mayoría de las materias extrañas representan riesgos físicos y se encuentran más asociados a la calidad de los alimentos, potencialmente pueden afectar la salud del consumidor, es por esto que no se deben dejar de considerar como problemas de inocuidad.

Hacer que las superficies de cualquier industria que procese alimentos se encuentren limpias, en especial aquellas superficies en contacto con los alimentos, es la tarea fundamental de un plan de saneamiento. Un equipo, utensilio, superficie y en general, un ambiente limpio, reduce las posibilidades de contaminación de los alimentos durante la preparación, procesamiento, almacenamiento y servido.

Si bien, el objetivo primordial de la limpieza se enfoca en reducir los riesgos físicos, un procedimiento de limpieza adecuado reducirá notablemente la presencia de microorganismos presentes y potenciales en los alimentos debido a la reducción de su fuente de supervivencia principal, el alimento.

Cualquier lugar en el que se manipulen o procesen alimentos involucra la presencia de suciedad. La suciedad se puede clasificar según su interacción con la superficie en la cual se presenta<sup>21</sup>:

---

<sup>20</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 (23, diciembre, 1997). Op. cit., artículo 2

<sup>21</sup> LÓPEZ GARCÍA, José Luis, BERGA MONJE, Alberto. Prerrequisitos del APPCC: Planes de limpieza y desinfección. En: Curso de Seguridad Alimentaria [En línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, marzo de 2007. [citado en 15 de enero de 2014]. Disponible en internet: <<http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/seguridad-alimentaria>>

- Libre: impurezas no fijadas en la superficie, fácilmente eliminables
- Adherente: impurezas fijadas, precisan una acción mecánica o química para ser eliminadas
- Incrustada: impurezas introducidas en los relieves o recovecos del soporte

Adicionalmente, según el tipo de alimento que se manipula o procesa, se puede caracterizar el tipo de suciedad presente. En la tabla 1 se relaciona el origen de la suciedad y su composición:

**Tabla 1.** Origen, tipo y composición de la suciedad según el tipo de alimento

<b>Origen</b>	<b>Suciedad</b>	<b>Componentes físico-químicos</b>
Vegetales crudos	Tejidos vegetales	Celulosa
	Harina	Almidón-Proteína
	Gelificantes	Polisacáridos-Proteína
	Azúcar	Glúcidos solubles
	Aceites vegetales	Lípidos
	Tierra	
Productos cárnicos y de la pesca	Sangre, músculo	Proteínas
	Grasas	Lípidos
	Gelatina	Colágeno-Proteínas
	Minerales	Minerales
Productos lácteos	Leche, suero, cuajada	Proteínas
	Nata, materia grasa	Lípidos
	Piedra de la leche	Lactosa, Proteína, Lípidos, Minerales
Ovoproductos	Clara	Proteínas
	Yema	Lípidos-Proteínas
Bebidas	Zumo de frutas	Azúcares, pulpas
	Vinos-Cervezas	Azúcares, taninos, fermentos
	Agua	Minerales
Utensilios	Desechos	Materiales de naturaleza diversa
	Metales pesados	Óxidos minerales
	Corrosión-Oxidación	Incrustaciones
Polvos	Varios	Minerales y orgánicos

Fuente: LÓPEZ GARCÍA, José Luis, BERGA MONJE, Alberto. Prerrequisitos del APPCC: Planes de limpieza y desinfección. En: Curso de Seguridad Alimentaria [En línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, marzo de 2007. [Citado en 15 de enero de 2014]. Disponible en internet: <<http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/seguridad-alimentaria>>

Las características mencionadas en la tabla 1 son fundamentales para determinar el tipo de sustancia o técnica a ser utilizado en las tareas de limpieza ya que, cada uno de ellos se comporta de manera distinta respecto a la solubilidad y a la acción de los agentes limpiadores.

En la tabla 2 se presentan los diferentes tipos de suciedad y sus características respecto a su solubilidad y facilidad de remoción y a los efectos del calentamiento de la superficie sobre la que se deposita la suciedad<sup>22</sup>.

**Tabla 2.** Relación entre el tipo de suciedad, su solubilidad, facilidad de remoción y efectos del calentamiento de la superficie sobre la que se deposita

Tipo de suciedad	Características de solubilidad	Facilidad de remoción	Cambios inducidos por el calentamiento de la superficie en la que se depositan
Azúcar	Soluble en agua	Fácil	Caramelización, dificulta la limpieza
Grasas	Soluble en agua, soluble en álcalis	Difícil	Polimerización
Proteínas	Soluble en agua, soluble en álcalis, ligeramente soluble en ácidos	Muy difícil	Desnaturalización, dificulta la limpieza
Sales monovalentes	Soluble en agua, soluble en ácidos	Fácil	Ninguna
Sales polivalentes	Insoluble en agua, soluble en ácidos	Difícil	Interacciones con otros constituyentes, dificulta la limpieza

Fuente: HELDMAN, Dennis R., LUND, Daryl B. Handbook of food engineering, Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2007, p. 931

Tal como se puede inferir de la tabla anterior, cada tipo de industria tiene asociada un tipo de suciedad que pudiera remover, relacionada especialmente con lo que allí procesa. Es así que cada tipo de suciedad requiere una clase de agente limpiador y una técnica de aplicación de acuerdo a la naturaleza, es por esto que no existe un detergente ideal o universal. De aquí la necesidad de evaluar cada establecimiento en el que se manipulen o produzcan alimentos para desarrollar un plan de saneamiento adecuado.

Así mismo, es necesario tener en cuenta otras consideraciones al momento de implementar el programa de L&D, por ejemplo, la clave de una buena limpieza de equipos e instalaciones sólo será posible si se han tenido en cuenta los conceptos

<sup>22</sup> HELDMAN, Dennis R., LUND, Daryl B. Handbook of food engineering. Boca Raton: CRC Press, 2005, p. 931

de diseño sanitario de los mismos además de una capacitación adecuada del personal. Además, un buen programa de L&D facilitará el mantenimiento de otros programas como el de control de proveedores.

## **2.2. AGENTES LIMPIADORES**

Los agentes limpiadores son sustancias que sirven para ablandar, desintegrar, disolver y en general, eliminar cualquier material contaminante presente en una superficie. Un agente limpiador, o la combinación de estos deben ser económicos, no tóxicos, no corrosivos, no debe apelmazarse o endurecerse, no debe generar polvo, debe ser fácil para medir o dosificar, debe ser estable durante el almacenamiento y debe ser fácil y completamente soluble.

Los requerimientos de un agente limpiador varían de acuerdo al área o equipo que debe ser limpiado. La combinación de estos para formar uno que satisfaga las necesidades individuales de cada proceso requiere tener en cuenta la naturaleza de la suciedad, las características del agua y el método de aplicación<sup>23</sup>.

Los mecanismos de acción de un agente limpiador o de la mezcla de éstos son<sup>24,25</sup>

- Defloculación o dispersión: acción por la cual los grupos o terrones de partículas se rompen y se extienden en suspensión en la solución
- Disolución: la reacción por la cual se producen materiales solubles en agua a partir de suciedad insoluble en ésta
- Emulsificación: proceso por el cual la grasa se rompe en pequeños glóbulos que son suspendidos en la solución limpiadora
- Penetración: la acción de los líquidos ingresando en materiales porosos a través de grietas, orificios o pequeños canales
- Peptización: formación física de soluciones coloidales a partir de materiales parcialmente solubles
- Saponificación: acción del álcali sobre las grasas resultando en la formación de jabón

---

<sup>23</sup> ESCAMILLA LAZCANO, José Luis. Buenas prácticas de manufactura y procedimientos de operación estándar de sanidad para la industria láctea. Tesina para obtener el título de Ingeniero Industrial. Tulancingo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias, 2007. p. 47

<sup>24</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Principles of food sanitation, Fifth Edition. New York: Springer Science+Business Media, Inc., 2006, p. 141

<sup>25</sup> Ibid., p. 147



- Suspensión: acción en la cual partículas insolubles son sostenidas en la solución y no se les permite asentarse en los utensilios
- Aclarado: acción mediante la cual se romperá la tensión superficial del agua en la solución para permitir al utensilio drenar hasta secarse
- Ablandamiento del agua:
  - Precipitación: ablanda el agua precipitando la dureza
  - Secuestración: la acción de un compuesto inorgánico que se adhiere a las partículas de dureza del agua y las inactiva, así no se combinarán con el otro material del agua y se precipitará
  - Quelación: es lo mismo que la secuestración excepto que se usa un compuesto orgánico
- Humectación: acción del agua en contacto con una superficie, ayuda a reducir la tensión superficial (los agentes humectantes generalmente hacen un buen trabajo de emulsificación)
- Sinergismo: un compuesto químico empleado junto con un jabón o un detergente, el cual resulta en una detergencia mayor que la detergencia total del químico y del detergente si fueran usados independientemente

Los químicos usados como agentes limpiadores pueden ser agrupados así<sup>26</sup>:

- Alkalinos: sirven para desplazar/emulsificar la suciedad, saponificar y peptizar
- Fosfatos compuestos: sirven para desplazar la suciedad mediante emulsificación y peptizado; dispersión de suciedad; ablandamiento del agua, prevención de depósitos de suciedad
- Surfactantes (tensioactivos): Sirven para mojar y penetrar la suciedad; dispersión y prevención de redeposición de la suciedad
- Quelantes: ablandadores de agua; control de depósitos minerales; desplazamiento y peptizado de la suciedad; prevención de redeposiciones
- Ácidos: Control de depósitos minerales; ablandamiento de agua

En la tabla 3 se relaciona la efectividad relativa de los agentes limpiadores de acuerdo al cumplimiento de las propiedades antes mencionadas.

---

<sup>26</sup> MELROSE CHEMICAL. Cleaning and disinfecting in the food processing industry [En línea]. Quebec: Melrose Chemical Ltd. [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.melrosechem.com/english/publicat/general/cleaning.pdf>>

**Tabla 3.** Efectividad relativa de algunos agentes limpiadores respecto a las funciones que deben cumplir

	Álcalis fuertes	Álcalis débiles	Polifosfatos	Ácidos débiles	Ácidos fuertes	Surfactantes
Quelación	0	1	4	0	0	0
Saponificación	4	3	3	3	3	1
Mojado	1	2	1	1	0	4
Peptizado	4	3	1	2	3	0
Emulsificado	1	2	2	0	0	4
Dispersión	2	3	1	3	0	3
Aclarado	3	3	2	1	0	4
Corrosión	4	2	0	2	4	0

Los valores indican: 4= actividad extrema, 3=actividad alta, 2=actividad media, 1=actividad baja, 0=sin actividad

Fuente: MELROSE CHEMICAL. Cleaning and disinfecting in the food processing industry [En línea]. Quebec: Melrose Chemical Ltd. [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: < <http://www.melrosechem.com/english/publicat/general/cleaning.pdf>>

**2.2.1. Agentes limpiadores de uso frecuente en la industria de alimentos:** A continuación se resumen los compuestos más comunes utilizados en la industria alimenticia según su grupo.

**2.2.1.1. Limpiadores fuertemente alcalinos:** tienen un alto poder disolvente, pero a su vez son altamente corrosivos. Pueden quemar, ulcerar y dejar cicatrices en la piel, dejando un daño permanente en los tejidos si la exposición es prolongada. Entre los agentes fuertemente alcalinos se encuentran el hidróxido de sodio y los silicatos con una proporción  $N_2O:SiO_2$  elevada. El uso de silicatos tiende a reducir la corrosión y mejora las propiedades de penetración y de enjuague del hidróxido de sodio. Debido al daño potencial para los humanos, no se debe emplear el hidróxido de sodio para limpieza manual<sup>27</sup>.

**2.2.1.2. Limpiadores alcalinos para trabajo pesado: poder disolvente moderado y poco corrosivo.** El contacto prolongado puede dejar la piel vulnerable a infecciones. Hacen parte de estos agentes el metasilicato de sodio, el hexametáfosfato de sodio, el pirofosfato de sodio y el carbonato de sodio. La adición de sulfitos a estos compuestos tiende a

<sup>27</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 149

reducir el ataque corrosivo a metales. Estos agentes se usan generalmente a alta presión o con otros sistemas mecánicos para remover grasas, aunque no sirven para el control de depósitos minerales<sup>28</sup>.

**2.2.1.3. Limpiadores alcalinos suaves:** empleados generalmente para lugares con suciedad baja. Compuesto como el bicarbonato de sodio, sesquicarbonato de sodio, pirofosfato de tetrasodio entre otros se consideran agentes alcalinos suaves. Son buenos suavizando el agua, pero no sirven para el control de depósitos minerales<sup>29</sup>.

**2.2.1.4. Limpiadores ácidos fuertes:** corrosivos para el concreto, metales y telas. Cuando se calientan, pueden producir gases tóxicos capaces de ulcerar los pulmones. Se usan principalmente para remover incrustaciones en equipos productores de vapor y algunos equipos de proceso. Los agentes más comunes son el ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, ácido sulfúrico y ácido fosfórico. Los ácidos sulfúrico y nítrico no deben ser usados para operaciones manuales debido a su corrosividad. Para contrarrestar este efecto, se pueden adicionar inhibidores como cromato de potasio o butilamina<sup>30</sup>.

**2.2.1.5. Limpiadores ácidos suaves:** ligeramente corrosivos, pueden causar reacciones alérgicas. Los ácidos levulínico, hidroxiacético, acético y glucónico se consideran agentes ácidos suaves. Pueden ser utilizados como ablandadores de agua<sup>31</sup>.

**2.2.1.6. Secuestrantes:** también llamados agentes quelantes (cuando se trata de compuestos orgánicos). Más que agentes limpiadores, se consideran auxiliares de limpieza. Sirven para reducir la reactividad de los constituyentes endurecedores del agua. Consisten en polifosfatos o derivados de aminas orgánicas. Los detergentes generalmente se componen de un surfactante y un formador (secuestrante). El formador incrementa la efectividad del limpiador controlando las propiedades de

---

<sup>28</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 149

<sup>29</sup> Ibid., p. 149

<sup>30</sup> Ibid., p. 150

<sup>31</sup> Ibid., p. 150

la solución limpiadora que tienden a disminuirla efectividad del surfactante. Los secuestrantes formadores más comunes son el pirofosfato ácido de sodio, el pirofosfato de tetrasodio, el tripolifosfato de sodio, el tetrafosfato de sodio, el hexametrafosfato de sodio y los fosfatos amorfos. La escogencia de uno u otro depende de la capacidad secuestrante necesaria ya que algunos como el pirofosfato ácido de sodio o el pirofosfato de tetrasodio no son tan buenos secuestran calcio, mientras que otros, como el tripolifosfato de sodio o el tetrafosfato de sodio son inestables a temperaturas superiores a los 60°C. Los secuestrantes orgánicos (quelantes) se usan en acondicionadores de agua y son más eficientes secuestrando iones de calcio y magnesio que los fosfatos, reduciendo al mínimo la formación de sarro. Los quelantes más conocidos son las sales del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)<sup>32</sup>.

**2.2.1.7. Surfactantes:** al igual que los secuestrantes, los surfactantes se consideran auxiliares de limpieza. Sirven para facilitar el transporte de agentes limpiadores sobre la superficie a ser limpiada. Además de sus propiedades principales, humectación y penetración, los surfactantes sirven como emulsificadores, defloculantes y suspensores de partículas. Los surfactantes se clasifican en catiónicos que son inefectivos como detergentes, pero pueden ser usados como agentes bactericidas, aniónicos, como los sulfonatos de alquilbenceno lineales, no iónicos, como las alcanolamidas y óxido de amina. Tanto los aniónicos como los no iónicos tienen excelentes propiedades detergentes, pero no sirven como agentes bactericidas y finalmente los anfóteros, que varían su carga de acuerdo al pH de la solución como los derivados de alquil betaína, derivados de imidazol, sulfonatos de aminas y sulfatos de aminas grasas<sup>33</sup>.

### 2.3. AVANCES EN AGENTES LIMPIADORES

Debido a la gran variedad de características que presenta la suciedad en la industria alimenticia, es posible desarrollar formulaciones para funciones específicas. Un detergente se compone de una gran variedad de compuestos o

---

<sup>32</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 154

<sup>33</sup> Ibid., p. 155

agentes limpiadores y otras sustancias y componentes que hacen más segura y eficiente la limpieza, cada uno con una función específica, como se pudo evidenciar en apartados anteriores. Los principales avances en la materia se dan entonces en el tipo de formulación desarrollado, en la presentación y la forma en la cual se debe aplicar. Es más común encontrar hoy formulaciones líquidas, geles, capsulas, etcétera. También se han presentado avances respecto a la técnica empleada para llevar a cabo un protocolo de limpieza. Si bien todavía se usa el concepto de limpiar “ex situ” (COP: Cleaning out place), desarmando el equipo y llevando a cabo el proceso de lavado, cada día se implementa más el concepto de limpieza “in situ” en donde todo el proceso de lavado de los equipos se hace en línea y de forma cerrada y automática.

A continuación se describen algunos avances en los agentes limpiadores.

**2.3.1. Enzimas:** uno de los principales avances en el caso de los agentes limpiadores es el uso de enzimas como aditivo de formulaciones detergentes. La industria textil ha empleado enzimas, logrando una reducción en los químicos requeridos y en el calentamiento logrando a su vez un ahorro energético<sup>34</sup>. Las enzimas se caracterizan por ser específicas para cada aplicación y porque cuando atacan la suciedad, esta se rompe en pequeños fragmentos y se facilita su remoción destruyendo sus sitios de unión. Un ejemplo son las proteasas, que actúan sobre las proteínas y se comportan mejor en ambientes alcalinos y a una temperatura de 60°C<sup>35</sup>. Las enzimas se han empleado con éxito para la limpieza de equipo de procesamiento de leche en frío y se han hecho ensayos para limpiar calentadores de leche<sup>36</sup>.

**2.3.2. Sistema de “rascado”:** consiste en una mezcla de agua y hielo combinado con un depresor del punto de congelación esta técnica novedosa se ha empleado para remover depósitos de jalea, margarina, mayonesa y crema dental. Las ventajas de esta técnica incluyen bajo impacto ambiental y la capacidad de separar y recuperar productos. Los resultados demuestran un mejor comportamiento de esta técnica comparada con agua a 20°C, sin embargo en el estudio referenciado no se comparó con otros agentes<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> HELDMAN, Dennis R., LUND, Daryl B. Op. cit., p. 505

<sup>35</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 153

<sup>36</sup> HELDMAN, Dennis R., LUND, Daryl B. Op. cit., p. 505

<sup>37</sup> Ibid., p. 505

**2.3.3. Otros agentes:** también se ha estudiado la posibilidad de emplear ozono y agua electrolizada como agentes de limpieza, pero debido a su uso como agentes microbianos, serán tratados en un capítulo posterior de este trabajo.

### 3. DESINFECCIÓN

En este capítulo se hace una descripción de lo que involucra la desinfección en la industria de alimentos, se abordan los principales contaminantes, así como los agentes desinfectantes y técnicas de aplicación que se usan para contrarrestarlos. Adicionalmente, se introducen los nuevos avances en la tecnología de los productos de desinfección y sus técnicas.

#### 3.1. RELACIÓN ENTRE LOS MICROORGANISMOS Y LOS ALIMENTOS

Más allá de aquellos elementos (denominados en el capítulo anterior como suciedad) que puedan estar presentes en los alimentos o en los lugares donde se manipulan, existen otros tipos de contaminantes que pueden afectar no solo la calidad de estos sino también su inocuidad.

El principal objetivo de la desinfección es eliminar o reducir al máximo la presencia de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en los equipos o utensilios con los que se manipulan los alimentos, en el personal que lo manipula o en el alimento mismo<sup>38</sup>.

En muchos casos la desinfección debe ir más allá del control de patógenos, pues la presencia de microorganismos llamados inofensivos puede llegar a crecer, bajo condiciones óptimas, a tal punto que se pueden presentar colores extraños, malos olores y sabores desagradables en el alimento, lo que ocasiona desechos y pérdidas económicas<sup>39</sup>.

Los microorganismos son formas de vida microscópicas que viven en cualquier ambiente que no se encuentre esterilizado. Como los demás seres vivos, los microorganismos metabolizan el alimento, generan productos de desecho y se reproducen. Es así que los alimentos, muchos frágiles y perecederos, están constantemente expuestos al ataque de vectores ya que contienen los nutrientes adecuados para el crecimiento microbiano. Para reducir el deterioro de los alimentos y eliminar las enfermedades transmitidas por alimentos, es necesario controlar la proliferación microbiana<sup>40</sup>.

---

<sup>38</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 3

<sup>39</sup> MELROSE CHEMICAL. Op. Cit., p. 10

<sup>40</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 25

Los microorganismos más comunes en los alimentos son las bacterias y los hongos, estos últimos se dividen a su vez en 2 grupos, mohos (multicelulares) y levaduras (normalmente unicelulares). Las bacterias, que normalmente crecen a expensas de los hongos, son unicelulares. Finalmente, se tiene el grupo de los virus que son cadenas de ácido nucleico (ADN o ARN). La relación entre los microorganismos y los alimentos se hace a continuación<sup>41, 42</sup>.

**3.1.1. Mohos:** son microorganismos multicelulares con células eucariotas y de morfología filamentosa. Se caracterizan por mostrar una gran variedad de colores y generalmente se reconocen por su apariencia similar al algodón. Pueden desarrollar numerosas esporas diminutas que se pueden difundir rápidamente en las corrientes de aire, las cuales posibilitan producir nuevo moho si son transferidas a un lugar con condiciones de germinación favorables. Su tolerancia a las variaciones de pH es superior a las de las bacterias y las levaduras, aunque prefieren un medio neutro, soportan variaciones de pH entre 2 y 8, también pueden tolerar mayores variaciones de temperatura, generalmente se encuentran a temperatura ambiente, pero soportan sin problema temperaturas inferiores a los 0 °C. Los mohos prefieren ambientes con humedad baja, de ahí que los pasteles, los quesos y los frutos secos sean propensos a la contaminación por este tipo de microorganismo<sup>43</sup>.

Algunos mohos son microorganismos beneficiosos, mientras otros son perjudiciales para los alimentos. De allí que algunos se utilizan junto con levaduras y bacterias para producir fermentos y están involucrados en procesos industriales para la producción de ácidos orgánicos y enzimas, en tanto algunos producen micotoxinas potencialmente carcinogénicas, mutanogénicas o teratogénicas en seres humanos y animales<sup>44</sup>.

Cuando un alimento está ante la presencia de moho, su deterioro y descomposición es evidente. Se pueden observar manchas, costras, capas similares al algodón o esporulaciones. Pueden producir sabores y olores desagradables debido a los cambios fermentativos, lipolíticos y proteolíticos causados por las reacciones enzimáticas con los carbohidratos, grasas y proteínas

---

<sup>41</sup> JAY, James M. Modern Food Microbiology, Sixth Edition. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000, p. 16

<sup>42</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 27

<sup>43</sup> *Ibíd.*, p. 26

<sup>44</sup> *Ibíd.*, p. 26



de los alimentos. Entre las especies de mohos más comunes asociadas a los alimentos se encuentran las de *Aspergillus*, que pueden producir Aflatoxinas, cuya toxicidad puede estar relacionada con algunos tipos de cáncer como el de hígado. También pueden producir Ocratoxinas que producen envenenamiento gastrointestinal agudo, enfermedad renal crónica y se relaciona con el cáncer de riñón en ratas. Los mohos de la especie *Fusarium* producen toxinas del tipo Dioxinivalenol, también conocida como Vomitoxina, la cual produce náusea, vómito, diarrea y dolor abdominal. También producen Fumonisinias que pueden estar relacionadas con algunos tipos de cáncer. Otro tipo de toxina producida por algunas especies de *Fusarium* es la Zearaenona que también puede estar relacionada con algunos tipos de cáncer. Los mohos de la especie *Penicillium* además de producir algunos tipos de Aflatoxinas, también producen Patulina, la cual está posiblemente asociada a hemorragias en el tracto digestivo, así como náuseas y vómitos<sup>45</sup>.

**3.1.2. Levaduras:** microorganismos unicelulares, difieren de las bacterias en su morfología y tamaño celular mayor. El tiempo de generación de las levaduras es de 2 a 3 horas en alimentos, lo que conduce de una contaminación de una levadura por gramo de alimento al deterioro en aproximadamente 40 – 60 horas. Al igual que los mohos, las levaduras se pueden diseminar utilizando las corrientes de aire. Las colonias de levaduras son generalmente de apariencia húmeda y fangosa o de un blanco cremoso. Estos microorganismos se desarrollan mejor en medios con un rango de acidez medio, entre 4,0 y 4,5, son capaces incluso de crecer en ambientes al vacío. Los alimentos contaminados con levaduras a menudo poseen un olor ligeramente frutal<sup>46</sup>.

Dentro de las principales especies de levaduras asociadas al deterioro en alimentos podemos encontrar la *Debaryomyces hansenii* que se encuentra en alimentos como las carnes fermentadas y curadas, el zumo de naranja, la leche y los lácteos en general, el pan y mariscos. La *Dekkera intermedia*, común en las cervezas, vinos, refrescos y yogur. La *Issatchenkia orientalis*, con un mayor índice de incidencia en lácteos y salsa de tomate. La *Kloeckera apiculata*, presente en tomates, higos, cerezas enlatadas y yogur. La *Pichia membranifaciens*, aislada en salmuera de aceitunas, conservas en vinagre, sala de tomate, queso y carnes. La *Rhodotorula spp.*, presente en frutas tratadas térmicamente, nata, mantequilla,

---

<sup>45</sup> MILIOTIS, Marianne y BIER, Jeffrey. International Handbook of Foodborne Pathogens. New York: Marcel Dekker, Inc. 2003, p. 423

<sup>46</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 27

helado, yogur, pan, carnes y mariscos. Especies de *Zaccharomyces* que afectan los refrescos, los zumos de frutas, algunos lácteos, carne y pan y, algunas especies de *Zygosaccharomyces* que se encuentran en jarabes de azúcar, zumos concentrados, vino, salsas de tomate y mayonesa, rellenos de pastelería, mazapán y mariscos<sup>47</sup>. Cabe anotar que las levaduras que afectan a los alimentos no producen enfermedades<sup>48</sup>.

**3.1.3. Bacterias:** son organismos multicelulares con morfologías variadas que van desde bacilos (con forma de vara corta y alargada) a formas esféricas u ovoides, como los cocos. Las bacterias individuales se combinan estrechamente en diversas formas, de acuerdo a su género. Algunas de forma esférica se agrupan en formas similares a racimos de uvas, como los estafilococos, en tanto otras (de forma esférica o de vara) se unen para formar cadenas como los estreptococos. Existen formaciones por pares (diploides) como el neumococo o tetraédricas como la que forma la *Sarcinia* spp., otros géneros se presentan como bacteria individuales y algunos poseen flagelos y movimiento<sup>49</sup>.

Producen pigmentos que varían desde el amarillo con tonos oscuros hasta marrón o negro. También existe pigmentación en tonos intermedios como el rojo, rosa, naranja, azul, verde o púrpura. Estos microorganismos causan la decoloración de los alimentos con pigmentos de color inestables como la carne o también por la formación de limo. Algunas especies de bacterias producen esporas las cuales pueden ser resistentes al calor, químicos y otras condiciones ambientales. Algunas de estas formadoras de esporas son microorganismos termófilos que producen toxinas que causan enfermedades transmitidas por alimentos<sup>50</sup>.

Los tipos más comunes de bacterias encontrados en los alimentos son, la *Bacillus cereus*, que causa diarrea y vómito cuando se ingiere un alimento contaminado por este patógeno. Los alimentos más comunes en donde se puede encontrar *B. cereus* son productos cárnicos, sopas, vegetales, pudines, aves de corral,

---

<sup>47</sup> CASAS ALCANTARILLA, Esperanza. Microorganismos Responsables de Alteraciones en Alimentos Altamente Azucarados. Memoria presentada para optar por el título de Doctor en Ciencias Biológicas: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas, 1999. p. 3

<sup>48</sup> FRASER, Angela M. Peligros de Origen Microbiano. En: Food Safety [En línea]. Clemson University, marzo, 2010. p. 6. [citado en 5 de junio de 2014]. Disponible en internet: <<http://www.foodsafetysite.com/resources/word/SpanishFoodservice/SPSection2.doc>>

<sup>49</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 27

<sup>50</sup> *Ibíd.*, p. 27

productos lácteos, arroz y pasta<sup>51</sup>. La *Staphylococcus aureus*, cuyos síntomas por envenamiento son náusea, vómito, diarrea, calambres abdominales y postración. Cuando es más severa, se puede presentar dolor de cabeza, calambres musculares y afectación en la presión arterial. Es común encontrar contaminación por *Staphylococcus* en productos como la carne y sus derivados, aves de corral, huevos, ensaladas, productos de panadería y derivados de la leche. También se pueden contaminar aquellos productos que requieren una manipulación considerable durante la preparación y que son mantenidos a temperaturas ligeramente elevadas después de su preparación<sup>52</sup>. La *Clostridium botulinum*, responsable del botulismo. Este microorganismo es ubicuo en la tierra, por lo tanto no es raro que aquellos alimentos de origen vegetal se encuentren contaminados. También es posible encontrarlo en pescados y mariscos, carnes y aves de corral, con mayor incidencia en el cerdo y, dependiendo de las condiciones higiénicas, es posible encontrarlo en productos lácteos<sup>53</sup>. La *Listeria monocytogenes*, responsable de la listeriosis, la cual se caracteriza por tener, en su fase temprana, síntomas similares a una gripe leve y cuando se alcanza una etapa avanzada, produce septicemia, meningitis y endocarditis. La *L. monocytogenes* puede desarrollarse en una variedad de alimentos en los que se incluye productos lácteos, carnes, comida de mar, huevos, vegetales y alimentos procesados<sup>54</sup>. La *Escherichia coli*, el microorganismo responsable de la mayoría de los casos de diarrea, en algunos casos acompañada de sangrado y calambres. La fuente primaria de transmisión de *E. coli* es el agua, ya sea por ingestión directa o por el consumo de alimentos que han sido irrigados, lavados o preparados con agua contaminada. Este fenómeno es más común en países en desarrollo. Otra vía de transmisión se da por las malas costumbres higiénicas de las personas que manipulan alimentos ya que la *E. coli* hace parte de la flora del tracto intestinal humano y se deposita en las heces<sup>55</sup>. La *Salmonella*, cuya infección produce generalmente gastroenteritis, se encuentra principalmente en el tracto digestivo de humanos y animales y por lo tanto es posible encontrarla en cualquier producto alimenticio que haya sido manipulado sin las debidas precauciones sanitarias<sup>56</sup>. Además de las mencionadas, existen otras bacterias que afectan los alimentos como la *Aeromonas*, la *Campylobacter*, la *Shigella*, la *Enterobacter*, la *Lactobacillus*, la *Pseudomonas* y la *Vibrio* por mencionar

---

<sup>51</sup> MILIOTIS, Marianne y BIER, Jeffrey. Op. Cit., p. 42

<sup>52</sup> Ibid., p. 56-57

<sup>53</sup> Ibid., p. 80-89

<sup>54</sup> Ibid., p. 116-121

<sup>55</sup> Ibid., p. 133-135

<sup>56</sup> Ibid., p. 147

algunas<sup>57</sup>, que son igualmente patógenas si no se tienen medidas de higiene y desinfección adecuadas para combatirlas.

**3.1.4. Virus:** microorganismos infecciosos más pequeños que las bacterias. Consisten en una molécula simple de ADN o ARN, rodeada por una capa hecha de proteína. No se reproduce por fuera de otro organismo, por tanto se convierten en parásitos de todos los organismos vivos como bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas superiores y animales vertebrados e invertebrados a los que ataca. Cuando una célula de la capa proteica se une a la superficie célula huésped apropiada, pueden suceder dos cosas, la célula huésped envuelve la partícula de virus o el ácido nucleico es inyectado directamente desde el virus hacia la célula huésped<sup>58</sup>.

En el caso de los alimentos, las personas sirven como portadoras y transmiten los virus a los alimentos. Una persona infectada puede excretar el organismo a través de las heces o el tracto respiratorio. La infección puede ocurrir a través de la tos, el estornudo, una nariz que moquea o del lavado inadecuado de manos después de utilizar el servicio sanitario. La incapacidad de los virus de reproducirse por sus propios medios sin la necesidad de un huésped complica su aislamiento de alimentos que se sospecha fueron causantes de enfermedades en humanos. Los alimentos más propensos a presentar contaminación por virus son aquellos que sufren mayor manipulación, tal es el caso de los emparedados, las ensaladas y los postres así como el agua, los mariscos y los alimentos listos para consumo. Las enfermedades transmitidas por virus son altamente contagiosas. Dentro del grupo de virus asociados a los alimentos de tiene el Hepatitis A, el Norovirus y el Rotavirus<sup>59</sup>.

---

<sup>57</sup> JAY, James M. Op. cit., p. 16

<sup>58</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 27

<sup>59</sup> FRASER, Angela M. Op. Cit., p. 4

## 3.2. FACTORES QUE PROPICIAN EL CRECIMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS EN LOS ALIMENTOS

Debido a la variedad de alimentos y de estados en los que estos se pueden encontrar, es importante entender de qué forma se ve afectado el desarrollo de microorganismos respecto estos estados. A continuación se hace un resumen de los factores presentes en los alimentos que afectan la proliferación de microorganismos.

**3.2.1. Factores extrínsecos:** Se relacionan al ambiente, entre ellos se encuentran:

**3.2.1.1. Temperatura:** para su crecimiento, los microorganismos requieren una temperatura óptima. La temperatura del ambiente determina tanto la tasa de proliferación, así como el tipo de microorganismo que puede proliferar, la mayoría de los microorganismos prolifera entre los 14°C y los 40°C, aunque algunos logran desarrollarse en temperaturas inferiores a los 0°C y superiores a los 100°C<sup>60</sup>.

De acuerdo a su temperatura óptima, los microorganismos se pueden clasificar en<sup>61</sup>:

- Termófilos: crecen a temperaturas superiores a los 45°C, siendo su temperatura óptima entre 55°C y 65°C. Ejemplo, *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus coagulans*, and *Lactobacillus thermophilus*.
- Mesófilos: con temperatura de proliferación entre 20°C y 45°C y temperatura óptima entre 30°C y 40°C. Ejemplo, la mayoría de los lactobacilos y estafilococos.
- Psicrótrofos: toleran y se desarrollan a temperaturas inferiores a los 20°C. Ejemplos, *pseudomonas* y *Moraxella-Acinetobacter*.

Las bacterias, mohos y levaduras, cada una tiene un género que se desarrolla en alguno de los rangos mencionados. La temperatura es, por lo tanto un factor crítico a la hora de controlar la actividad microbiana.

---

<sup>60</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 30

<sup>61</sup> JAY, James M. Op. cit., p. 49

**3.2.1.2. Disponibilidad de oxígeno:** este factor también determina qué tipo de microorganismos pueden estar activos en determinado ambiente. Algunos requieren ambientes con absoluto de oxígeno, en tanto otros crecen en total ausencia del mismo e inclusive, algunos crecen con o sin oxígeno disponible. A los microorganismos que requieren oxígeno libre se les conoce como aerobios, entre los cuales están las pseudomonas, los que no necesitan oxígeno se conocen como anaerobios, como los de la especie de *Clostridium*, mientras los que pueden desarrollarse con presencia o ausencia de oxígeno se conocen como facultativos, en este grupo se encuentran los *Lactobacilos*<sup>62</sup>.

**3.2.1.3. Humedad relativa:** afecta el crecimiento microbiano y generalmente está influenciado por la temperatura. Casi todos los microorganismos tienen altos requerimientos de agua para mantener su actividad. Una humedad relativa alta puede causar condensación en los alimentos, así como en los equipos, paredes y techos, ello causa superficies húmedas que aumentan el valor de la actividad de agua (que se tratará más adelante) lo que conduce al crecimiento microbiano y al deterioro de los alimentos. Por otro lado, el crecimiento de los microorganismos se ve inhibido por una humedad relativa baja.<sup>63</sup>

**3.2.2. Factores intrínsecos:** estos hacen referencia a las características de los sustratos (productos alimenticios) que afectan el crecimiento de los microorganismos.

**3.2.2.1. Actividad de agua:** la unidad de medida del requerimiento de agua para los microorganismos (agua disponible para su actividad metabólica) se expresa como actividad de agua  $a_w$  y se define como la presión de vapor de un alimento dado en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La  $a_w$  de la mayoría de los alimentos frescos es de 0.99. En la tabla 4 se presentan los valores mínimos para el crecimiento de algunos microorganismos. En términos generales, las bacterias requieren un valor de  $a_w$  superior, mientras que los mohos y las levaduras pueden desarrollarse con una actividad de agua de 0.8 o inclusive menor. Con la disminución de la disponibilidad

---

<sup>62</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 31

<sup>63</sup> JAY, James M. Op. cit., p. 51

de agua se pretende reducir la proliferación microbiana inhibiendo su metabolismo, ya que todas las reacciones químicas de las células requieren un ambiente acuoso. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la  $a_w$  está influenciada por otros parámetros ambientales como el pH o la temperatura<sup>64</sup>.

**Tabla 4.** Valores de  $a_w$  mínimos (aproximados) para el crecimiento de microorganismos

Organismos	$a_w$
<b>GRUPOS</b>	
Bacterias	0.90
Levaduras	0.88
Mohos	0.80
<b>ORGANISMOS ESPECÍFICOS</b>	
<i>Clostridium botulinum</i> , tipo E	0.97
<i>Pseudomonas spp.</i>	0.97
<i>Escherichia coli</i>	0.96
<i>Enterobacter aerogenes</i>	0.95
<i>Clostridium botulinum</i> , tipos A y B	0.94
<i>Candida utilis</i>	0.94
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.94
<i>Rhizopus stolonifer</i>	0.93
<i>Mucor spinosus</i>	0.93
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86
<i>Aspergillus conicus</i>	0.70
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	0.62

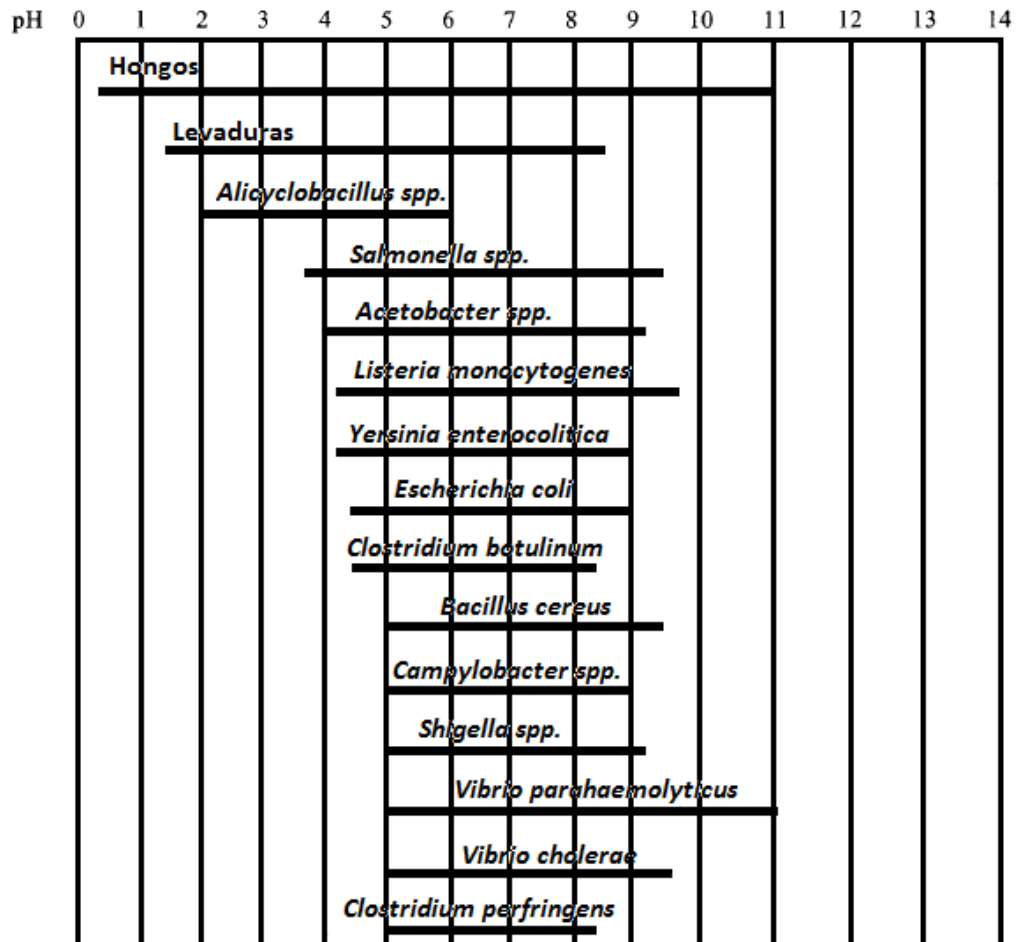
Fuente: JAY, James M. Modern Food Microbiology, Sixth Edition. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000, p. 36

**3.2.2.2. pH:** es el recíproco de la medida de la concentración de iones hidrogeno en un determinado compuesto. El pH óptimo para para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos está cerca del punto neutro (7.0). Las levaduras pueden crecer en un ambiente ácido y se desarrollan bien en un rango ácido intermedio (4.0 a 4.5). Los mohos toleran un rango mayor (2.0 a 8.0) aunque su crecimiento es mayor en medios ácidos. El crecimiento bacteriano se favorece en ambientes

<sup>64</sup> JAY, James M. Op. cit., p. 41

neutros y por debajo de 5.2 se disminuye<sup>65</sup>. En la figura 1 se presenta los rangos de pH para algunos microorganismos.

**Figura 1.** Rango de pH óptimo para el crecimiento de algunos microorganismos



Fuente: JAY, James M. Modern Food Microbiology, Sixth Edition. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000, p. 36

**3.2.2.3. Potencial de óxido-reducción:** indica la facilidad con la que un sustrato puede ganar o perder electrones, cuando un compuesto pierde electrones, se dice que el sustrato se oxida, mientras que cuando los gana, se reduce. Cuando los electrones son transferidos de un compuesto a otro, se crea una diferencia de potencial, la cual se puede medir con el uso de un instrumento adecuado y se expresa en

<sup>65</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 32



milivoltios (mV), una sustancia oxidada presentará un potencial eléctrico negativo mientras que una reducida tendrá un valor negativo. Los microorganismos presentan grados de sensibilidad variables respecto al potencial de óxido-reducción. Para alcanzar un óptimo crecimiento, algunos microorganismos requieren condiciones de oxidación, como los aerobios, mientras que otras de reducción, como los anaerobios. La *Clostridium* por ejemplo, al ser un microorganismo anaeróbico, requerirá condiciones de reducción, mientras que la *Bacillus*, por ser aeróbica, se adaptara a un ambiente que favorezca la oxidación, a la que se adaptarán también los mohos y levaduras, ya que la mayoría de los que se encuentran en los alimentos son aeróbicos<sup>66</sup>.

**3.2.2.4. Requerimientos nutricionales:** además del agua y del oxígeno, los microorganismos tienen otros requerimientos de nutrientes. La mayoría de los microbios necesitan fuentes externas de nitrógeno proveniente de los aminoácidos, energía (carbohidratos, proteínas o lípidos), minerales y vitaminas para mantener su crecimiento. Los mohos son los más efectivos empleando las proteínas, carbohidratos complejos y lípidos porque contienen enzimas capaces de hidrolizar estas moléculas en componentes menos complejos. Muchas bacterias tienen la misma capacidad pero la mayoría de las levaduras requieren formas más simples de estos compuestos, Todos los microorganismos necesitan minerales, pero los requerimientos de vitaminas varían<sup>67</sup>.

**3.2.2.5. Sustancias inhibidoras:** el crecimiento microbiano se puede afectar por la presencia o ausencia de sustancias inhibidoras. Los agentes que inhiben esta actividad se llaman bacteriostáticos y aquellos que destruyen los microorganismos se llaman bactericidas. Algunas sustancias bacteriostáticas se adicionan durante el procesamiento de los alimentos mientras que los bactericidas se emplean como método de desinfección. Un ejemplo de sustancias bacteriostáticas son los nitritos que se agregan durante la etapa de producción<sup>68</sup>. Las sustancias bactericidas se relacionan directamente con los agentes desinfectantes. Estos serán tratados en un apartado posterior.

---

<sup>66</sup> JAY, James M. Op. cit., p. 41

<sup>67</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 32

<sup>68</sup> Ibid., p. 32

### 3.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Cómo se ha mencionado hasta ahora, los alimentos son una fuente de nutrición ideal para los microorganismos. Un alimento se puede contaminar durante la cosecha, el procesamiento, la distribución y la preparación, contaminación que puede provenir del suelo (tierra en donde se cosecha), el aire, el agua, los equipos y utensilios o los operarios. Los microorganismos también se encuentran dentro las vísceras de los animales, pudiendo migrar durante la etapa de beneficio (sacrificio) a los músculos<sup>69</sup>.

Identificar una fuente de contaminación es esencial para desarrollar una estrategia de limpieza y desinfección adecuada. Dentro de una planta procesadora de alimentos, por ejemplo, se debe considerar las superficies en contacto directo e indirecto con el alimento así como el agua, el aire y el personal.

Cada alimento tiene diferentes maneras de contaminarse, muchas de ellas dependen de la estructura misma de este y de la manera como se procesa, a continuación se citará algunas formas de contaminación de los principales alimentos

La principal fuente de contaminación de la leche y sus derivados puede darse durante el ordeño a través de las ubres no higienizadas o del equipo de ordeño<sup>70</sup>.

El tejido muscular de las carnes rojas es por lo general sano, ya que las células blancas y los anticuerpos de los animales son efectivos para combatir los agentes infecciosos cuando están vivos, sin embargo, este mecanismo de defensa se destruye cuando se remueve la sangre durante el beneficio. La contaminación se puede dar entonces cuando fuentes externas portadoras de microorganismos como el pelo, la piel, las patas, el excremento y el contenido de los tractos respiratorio y gastrointestinal entran en contacto con las canales debido a pinchamientos no deseados. Otra puerta de entrada para los microorganismos a la carne se debe al uso de equipos para el sangrado posiblemente contaminados. Posterior a esta etapa, se puede dar la contaminación mediante la introducción de microorganismos en la superficie de la carne durante los procesos de porcionado o distribución<sup>71</sup>.

---

<sup>69</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 76

<sup>70</sup> Ibid., p. 78

<sup>71</sup> Ibid., p. 79

Los productos avícolas son vulnerables a la contaminación especialmente por *Salmonella* y *Campylobacter* durante el procesamiento. El desplume y la evisceración son etapas especialmente críticas para que los microorganismos entren a los cuerpos sacrificados. Adicionalmente, las herramientas, manos y guantes del personal manipulador contribuyen también a la contaminación<sup>72</sup>.

Los pescados y mariscos son sustratos ideales para el crecimiento de microorganismos y son vulnerables a la contaminación durante la cosecha, el procesamiento, la distribución y venta. Son fuente de aminoácidos, vitaminas, proteínas y minerales necesarios para la nutrición de los microorganismos. Este tipo de alimentos requiere una manipulación extensiva y son almacenados durante periodos de tiempo prolongados, muchas veces sin la debida refrigeración<sup>73</sup>.

El alimento no es el único que alberga y permite la proliferación de los microorganismos, existen otros lugares propicios para ello, los equipos de procesamiento, por ejemplo, pueden contaminarse durante la etapa de producción así como cuando se encuentran detenidos, pueden recolectar microorganismos y otros desechos del aire, de los mismos productos que procesan y de los manipuladores.

Los manipuladores son la mayor fuente de contaminación. Un empleado que no cumple con las buenas prácticas sanitarias puede contaminar un alimento cuando lo toca. Las manos, el pelo, la nariz y la boca pueden portar microorganismos que pueden ser fácilmente transferidos al alimento durante el procesamiento, el empaque, la preparación o el servido bien sea tocándolo, respirando o tosiendo<sup>74</sup>.

El agua se utiliza tanto para la formulación de productos alimenticios, como para las operaciones de lavado de insumos, materias primas y equipos. Se hace indispensable entonces que toda el agua que se va a emplear en relación a operaciones con alimentos (incluyendo las de lavado), sean de una calidad microbiológica óptima que eviten que se convierta en una fuente de contaminación. Es necesario monitorear constantemente el suministro de agua, así como los puntos donde esta se utiliza para verificar su calidad y, dado el caso, proceder a su debido tratamiento. Así mismo, el ambiente en el cual se manipulan los alimentos también puede encontrarse contaminado lo que hace necesario su monitoreo y control. Otras fuentes relacionadas al agua y al ambiente pueden ser

---

<sup>72</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 79

<sup>73</sup> Ibid., p. 79

<sup>74</sup> Ibid., p. 80

los desagües y los sistemas de ventilación, los cuales deben contar con las medidas de contención adecuadas para evitar el ingreso (o reingreso de agentes contaminantes indeseados<sup>75</sup>.

Finalmente, los vectores (insectos y roedores) son una causa más de contaminación de los alimentos, ellos transfieren basura y otras cosas indeseadas desde lugares contaminados hacia la comida a través de sus excrementos, la regurgitación, patas y otras partes del cuerpo. Es necesario contar con un diseño de la planta de procesamiento y almacenamiento adecuado, complementado con buenas prácticas que permitan mantener el control de estos en lugares donde se manipulen alimentos<sup>76</sup>.

### **3.4. AGENTES DESINFECTANTES**

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha definido tres categorías de tratamiento microbiano de acuerdo a su nivel de efectividad<sup>77</sup>:

- Esterilizante: es un agente que destruye o elimina todas las formas de vida microbiana.
- Desinfectante: es aquel que destruye hongos y bacterias infecciosas aunque no necesariamente esporas de bacterias. Es un proceso menos letal que la esterilización.
- Sanitizante: es una sustancia que reduce, pero no necesariamente elimina los contaminantes microbianos, a niveles que se consideran seguros para la salud pública.

Para el caso del presente documento, se hará referencia a cualquier producto o proceso empleado para la disminución o destrucción de microorganismos como desinfección o agente desinfectante, sin tener en cuenta el nivel de efectividad que tenga de acuerdo a los niveles definidos anteriormente.

Un desinfectante ideal debe ser de amplio espectro y efectividad, debe ser de rápida acción, resistente al ambiente de trabajo (presencia de materia orgánica, residuos de detergentes y variaciones de dureza y pH del agua), fácil de preparar,

---

<sup>75</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 80

<sup>76</sup> Ibid., p. 81

<sup>77</sup> Ibid., p. 165

soluble en agua, estable en el tiempo y en las disoluciones, compatible con el medio ambiente, no corrosivo, no tóxico, seguro para su uso y económico<sup>78</sup>.

No existe un desinfectante ideal universal, por esta razón, se debe tener un conocimiento amplio del tipo de industria alimenticia que se maneja, así como de todas las posibles fuentes de infección que puede sufrir un alimento o un grupo de alimentos en particular para garantizar la elección óptima de un agente o técnica de desinfección.

En los apartados anteriores se hizo una breve mención de los tipos de microorganismos que pueden afectar a los alimentos, así como los factores que favorecen su proliferación y las posibles fuentes de contaminación. A continuación se tratarán los tipos de agentes desinfectantes más comunes en la industria y las técnicas empleadas para su aplicación.

**3.4.1. Tratamientos físicos:** este método de desinfección no compromete el uso de sustancias químicas y se vale de las propiedades físicas del agente desinfectante y del medio.

**3.4.1.1. Tratamiento térmico:** el calor es considerado como un método confiable de desinfección de aquello que pueda soportar la temperatura. El calor actúa por efecto oxidativo así como por la desnaturalización y coagulación de las proteínas de las células. Aquellos elementos que no soportan temperaturas elevadas todavía pueden emplear el calor como método de desinfección utilizando menores temperaturas y mayores tiempos de exposición<sup>79</sup>.

Entre los principales factores que afectan la desinfección por calor se tiene:

- Naturaleza del calor: el calor húmedo es más efectivo que el calor seco.
- Temperatura y tiempo: variables inversamente proporcionales, a mayor temperatura se requieren menos tiempo de exposición.

---

<sup>78</sup> JARAMILLO, Lina. Limpieza y desinfección: Haciendo la mejor elección. En: Diplomado BPM-HACCP para industria de alimentos (16: 19 abril - 9 de agosto: Cali, Valle). Memorias. Universidad del Valle, 2013, p. 6

<sup>79</sup> RAO P. N., Sridhar. Sterilization and disinfection [En línea]. Karnataka: Sridhar Rao P. N's homepage. 2008. p. 1. [citado en 28 de abril de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.microrao.com/micronotes/sterilization.pdf>>

- Número de microorganismos: a mayor número de microorganismos se requiere mayor temperatura o más tiempo de exposición.
- Naturaleza del microorganismo: la sensibilidad al calor puede variar dependiendo del tipo de microorganismo
- Presencia de material orgánico: las proteínas, los azúcares, los aceites y las grasas incrementan el tiempo requerido

El calor seco se utiliza en el calentamiento al rojo, que consiste en exponer los elementos a ser esterilizados directamente a una llama hasta alcanzar el rojo. De manera similar, se puede someter los elementos simplemente a la llama sin alcanzar el rojo. Ambos métodos están altamente limitados por el tipo de material y en el caso del sometimiento a la llama por cortos periodos, no se asegura que las esporas sean destruidas<sup>80</sup>.

Otra técnica que utiliza el aire caliente es el horno, en donde los artículos a ser desinfectados se exponen a una temperatura de 160 °C en un periodo de una hora. Ya que el aire es un conductor de calor muy pobre, la distribución de calor al interior del horno se logra mediante la ventilación. El calor se transfiere a los elementos mediante radiación, conducción y convección. El control de la temperatura dentro del horno debe ser estricto y debe estar adecuadamente aislado<sup>81</sup>.

Con el calor húmedo se tienen aquellas técnicas que utilizan temperaturas inferiores a los 100°C y aquellas que utilizan temperaturas superiores. Las temperaturas más bajas se usan en la pasteurización, entre las que se distinguen el método titular (63°C por 30 minutos) y el método flash (72°C por 15 minutos) seguido de un enfriamiento rápido a 13°C. También está la temperatura ultra alta (o UHT por sus siglas en ingles) que consiste en calentar a 140°C durante 15 segundos y 149°C durante 0.5 segundos. Los patógenos como *Salmonella*, *Mycobacterium*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Brucella* son susceptibles a este tratamiento<sup>82</sup>.

A los 100°C se emplea agua en ebullición, la cual mata la mayoría de las bacterias vegetativas y los virus de manera inmediata. Algunas

---

<sup>80</sup> RAO P. N., Sridhar. Op. cit., p. 2

<sup>81</sup> Ibid., p. 2

<sup>82</sup> Ibid., p. 3

toxinas como las enterotoxinas estafilocócicas y esporas bacterianas son resistentes a la ebullición. Cuando se agrega un 2% de bicarbonato de sodio al agua hirviendo se aumenta la actividad de eliminación. El vapor a 100°C también se puede usar en lugar de mantener los elementos sometidos a desinfección dentro del agua en ebullición. Estos deben someterse a la exposición del vapor durante un periodo de 90 minutos<sup>83</sup>.

Cuando se tienen temperaturas superiores a los 100°C se emplea un autoclave, que, siendo un recipiente sometido a presión, logra elevar la temperatura de ebullición del agua. A una presión de 15 psi al interior del autoclave, se tiene una temperatura de 121°C, la cual logra desinfectar los elementos sometidos a este proceso<sup>84</sup>.

**3.4.1.2. Radiación:** es otro de los métodos empleados para destruir microorganismos. Los agentes desinfectantes radiantes tales como las ondas electromagnéticas (radiación ultravioleta, cátodo de alta energía, rayos gamma) pueden dañar y/o destruir bacterias<sup>85</sup>. Cuando la radiación golpea a las bacterias y otros microorganismos, su alta energía rompe los enlaces en las moléculas que son vitales para la integridad y el crecimiento de la célula. Como resultado, los microorganismos mueren o son incapaces de reproducirse.

Los alimentos son irradiados cuando pasan a través de una cámara y no entran en contacto directo con materiales radiactivos. Es importante conocer las características del alimento que se va a irradiar ya que cada uno necesita una dosis particular, la velocidad con la cual el alimento pasa a través de la cámara determina la dosis de radiación<sup>86</sup>.

Como fuentes de radiación se tienen las fuentes de rayos gamma como el cobalto-60 o el cesio-137, los cuales tienen un alto nivel de penetración y son de riesgo bajo para el medio ambiente, sin embargo,

---

<sup>83</sup> RAO P. N., Sridhar. Op. cit., p. 3

<sup>84</sup> Ibid., p. 4

<sup>85</sup> HARREL, R.M. Striped bass and other morone culture. En: Developments in Aquaculture and Fisheries Science, vol. 30. Amsterdam: Elsevier, 1997, p. 347

<sup>86</sup> EPA. Food irradiation [En línea]. Washington, D.C. Environmental Protection Agency, 2 de Julio de 2013 [citado en 1 de mayo de 2014]. Disponible en internet: <[http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/food\\_irrad.html](http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/food_irrad.html)>

son lentos en el tratamiento y se desgastan con el tiempo. Los generadores de haz de electrones (e-beam), que consisten en un acelerador lineal. No requieren renovar su fuente de energía como en el caso del cobalto-60 ya que su energía proviene de la electricidad, sin embargo no tienen tanto nivel de penetración y son costosos debido al alto consumo de electricidad y a su mantenimiento. Para lograr una mayor penetración los haces de electrones, estos se convierten a rayos X, estos poseen el mismo problema de los haces de los e-beam<sup>87</sup>.

A pesar de que no se considera como riesgo para la salud humana, el uso de este tipo de tratamiento está limitado a la dosis que puede recibir un alimento, en la tabla 5 se presenta un resumen de los límites permitidos por el gobierno federal de los Estados Unidos en su Código de Regulaciones Federales, título 21.

---

<sup>87</sup> EPA. Food irradiation. Op. cit.



**Tabla 5.** Limitaciones en el uso de radiación ionizante para el tratamiento de alimentos

Uso	Limitaciones
Control de <i>Trichinella</i> en canales de porcino	Dosis mínima 0.3 kiloGray (kGy) (1); no exceder 1 kGy
Desinfección microbiana de preparados enzimáticos secos o deshidratados	No exceder 10 kGy
Desinfección microbiana de sustancias vegetales aromáticas secas o deshidratadas cuando se utilizan en pequeñas cantidades para dar sabor o aroma, tales como: hierbas culinarias, semillas, especias	No exceder 30 kGy
Control de patógenos transmitidos por aves de corral sin cocinar frescas o congeladas (canales enteras o despresadas)	No exceder 4.5 kGy para no congelados; no exceder 7.0 kGy para congelados
Control de patógenos transmitidos por la carne o extensión de su vida útil. Productos cárnicos crudos, refrigerados o congelados, subproductos o a base de carne	No exceder 4.5 kGy para no congelados; no exceder 7.0 kGy para congelados
Control de <i>Salmonella</i> en huevos frescos	No exceder 3.0 kGy
Control de bacteria <i>Vibrio</i> y otros microorganismos en moluscos frescos o congelados	No exceder 3.0 kGy
(1)Unidad del SI para medir la dosis absorbida de radiación ionizante por un determinado material. 1 Gray equivale a un Joule de energía ionizante por kilogramo de material irradiado	

Fuente: ARCHIVO NACIONAL DE EE.UU. Y ADMINISTRACIÓN DE DOCUMENTOS. Código de regulaciones federales. Alimentos y Drogas, Título 21, sec. 179.26. [En línea] Washington, D.C., 14 de abril de 2014. Disponible en internet: <<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&sid=911a36a52aad0759b094cf95b467782e&rgn=div5&view=text&node=21:3.0.1.1.10&idno=21#21:3.0.1.1.10.2.1.5>>.

**3.4.2. Compuestos químicos:** desinfectantes que varían en composición y actividad dependiendo de las condiciones y los requerimientos. Las características individuales de cada desinfectante se deben conocer para elegir aquel que se adecue más a las necesidades de cada proceso. Los factores que afectan la efectividad de un agente desinfectante son<sup>88</sup>:

<sup>88</sup> MELROSE CHEMICAL. Op. Cit., p. 13

- Tiempo de exposición: le debe tener en cuenta que no todos los microorganismos mueren al mismo tiempo, su disminución se presenta de manera gradual
- Temperatura: la tasa de muerte de los microorganismos debida a la aplicación de un agente químico se incrementa al elevar la temperatura. Una mayor temperatura generalmente disminuye la tensión superficial, incrementa el pH, disminuye la viscosidad, lo que ayuda a la acción bactericida. Una excepción se presenta con los yodóforos, los cuales se vaporizan a 50°C
- Concentración: generalmente al incrementar la concentración del agente desinfectante se mejora la tasa de destrucción de microorganismos
- pH: la actividad de un agente desinfectante puede variar con pequeños cambios en el pH. Los compuestos a base de cloro y yodo por ejemplo, pueden disminuir su efectividad a medida que se incrementa el pH
- Presencia de materia orgánica: la suciedad o la materia orgánica puede inactivar la acción del agente desinfectante
- Carga microbiana: no todos los agentes desinfectantes son igualmente efectivos contra todo tipo de microorganismos. Las células en las esporas o en un biofilm son más resistentes que aquellas que se encuentran en forma vegetativa y libre. La presencia de mohos y levaduras como principal contaminante supone un tratamiento diferente al caso en el que se tuviera bacterias. Adicionalmente, el mayor número de microorganismos presentes incrementa la posibilidad de supervivencia de estos al ataque del agente desinfectante.

Dentro de los agentes desinfectantes más usados se tiene:

**3.4.2.1. Compuestos a base de cloro:** cloro líquido, los hipocloritos, las cloraminas orgánicas e inorgánicas y el dióxido de cloro funcionan como agentes desinfectantes. Los desinfectantes a base de cloro son económicos, tienen un amplio espectro antimicrobiano y representan un riesgo mínimo para el medio ambiente<sup>89</sup>.

El cloro en solución reacciona inmediatamente con los iones metálicos, los radicales libres y la materia orgánica, luego el cloro residual ataca a los agentes patógenos, razón por la cual es deseable que no haya

---

<sup>89</sup> KHARS, R. F. Principios generales de la desinfección. En: Revue Scientifique et Technique de L'Office International des Epizooties. 1995, vol. 14, no. 1, p. 151

presencia de materia orgánica cuando se está realizando una desinfección con compuestos clorados. Las bacterias, virus y esporas muestran una resistencia variable a los desinfectantes clorados<sup>90</sup>.

Cuando el cloro o los hipocloritos se mezclan con agua, se hidrolizan para formar ácido hipocloroso, el cual se disocia para formar ion hidrogeno ( $H^+$ ) y ion hipoclorito ( $OCl^-$ ). Los compuestos a base de cloro son más efectivos a pH bajos, cuando la presencia de ácido hipocloroso es dominante. A medida que el pH se incrementa, el ion hipoclorito, que no es tan efectivo, predomina.

Los hipocloritos son la forma más usada de compuestos a base de cloro, en especial el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio. Estos agentes son efectivos desactivando las células microbianas en suspensión acuosa y requieren un tiempo de contacto de aproximadamente 1.5 a 100 segundos. Una reducción del 90% en la población celular de la mayoría de los microorganismos puede ser alcanzada en menos de 10 segundos con niveles bajos de oxígeno disponible. Las esporas son más resistentes que las células vegetativas. El tiempo requerido para alcanzar una reducción del 90% en la población celular puede alcanzar los 20 minutos y la concentración debe ser de 10 a 1000 veces mayor. Una concentración de 200 ppm es efectiva para la mayoría de las superficies a tratar<sup>91</sup>.

Las cloraminas son tan efectivas como los hipocloritos en la desactivación de microorganismos, aunque liberan cloro a una menor velocidad y por lo tanto su tasa de destrucción es más lenta. Esta actividad reducida le permite penetrar en la materia orgánica, lo cual representa una ventaja contra los biofilm, sin embargo, el uso de estas sustancias está restringido ya que son potencialmente cancerígenas<sup>92</sup>.

El dióxido de cloro tiene un poder oxidante 2.5 veces superior al del cloro y se ve favorecido a un pH de 8.5, además, se afecta menos en

---

<sup>90</sup> KHARS, R. F. Op. cit., p. 152

<sup>91</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 172

<sup>92</sup> PARK, Se-Keum y KIM, Yeong-Kwam. Effect of chloramine concentration on biofilm maintenance on pipe surfaces exposed to nutrient-limited drinking water. En: Water S.A. Julio, 2008, col. 34, no. 3, p. 379

condiciones alcalinas y en presencia de materia orgánica, por lo que es óptimo para el tratamiento de aguas residuales y puntos de desagüe<sup>93</sup>.

Cuando los compuestos clorados se emplean en soluciones o en superficies donde el cloro disponible pueda reaccionar con las células, este agente es bactericida y esporicida. Las células vegetativas se destruyen más fácilmente que las esporas de *Clostridium*, las que a su vez son menos resistentes que las esporas de *Bacillus*. En concentraciones de 50 ppm o menos, el cloro es inactivo contra la *Listeria monocytogenes*, pero en concentraciones superiores se destruye fácilmente este patógeno, el efecto se mejora cuando se incrementa la cantidad de cloro disponible, se disminuye el pH y se aumenta la temperatura<sup>94</sup>.

Sin embargo, los compuestos a base de cloro cuentan con las siguientes desventajas<sup>95</sup>:

- Son corrosivos para el acero inoxidable y otros metales
- Se deterioran durante el almacenamiento, sobre todo si se exponen a la luz o a temperaturas elevada
- A pH bajo, las soluciones pueden formar cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>), un compuesto tóxico y corrosivo
- Su forma líquida concentrada puede ser explosiva
- El cloro es un irritante cutáneo y de las membranas mucosas

**3.4.2.2. Compuestos a base de yodo:** el yodo elemental libre y el ácido hipoyodoso son los ingredientes activos en los compuestos empleados en desinfección, entre los que se encuentran los yodóforos, soluciones de alcohol-yodo y soluciones acuosas de yodo. Los yodóforos se usan en la desinfección de equipos, superficies y como antiséptico para la piel.

El complejo yodóforo libera un ion intermedio el cual, en presencia de ácido se convierte en ácido hipoyodoso y yodo diatómico. La cantidad

---

<sup>93</sup> LELIEVELD, H. L. M. MOSTERT, M. A. y HOLAH, J. Handbook of hygiene control in the food industry. Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2007, p. 76

<sup>94</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 174

<sup>95</sup> MELROSE CHEMICAL. Op. cit., p. 11

de yodo libre disponible determina la actividad de los yodóforos. Las esporas son más resistentes al yodo que las células vegetativas, y su tiempo de exposición para que se considere letal frente a las esporas es hasta 1000 veces mayor. El yodo no es tan efectivo como el cloro en la destrucción de esporas, aunque es más estable ante la presencia de materia orgánica. Los complejos de yodo tienen poca toxicidad y son estables en valores de pH bajos, se pueden usar a concentraciones bajas, entre 6.25 y 25 ppm y son más efectivos que otros agentes químicos en la destrucción de virus<sup>96</sup>.

Cuando se usa en concentraciones adecuadas, los desinfectantes a base de cloro pueden proveer hasta 70 mg/L de yodo libre y alcanzar valores de pH de 3 o menos en aguas con una dureza alcalina moderada. Las soluciones de yodo alcanzan su mayor efectividad en pH de 2,5 a 3,5 y su eficiencia se reduce cuando se diluyen demasiado y el agua tiene un alto nivel de alcalinidad<sup>97</sup>.

Cuando se encuentra en forma concentrada, los compuestos yodados tienen una vida útil prolongada, sin embargo, cuando se encuentran en solución, se puede producir la pérdida de yodo por evaporación, sobre todo si la temperatura es superior a los 50°C.

Dentro de las desventajas que presentan los compuestos yodados, se encuentran su mayor costo frente a los compuestos a base de cloro, produce mal sabor en los alimentos y son poco efectivos a bajas temperaturas, además, manchan el plástico y los materiales porosos<sup>98</sup>.

**Desinfectantes a base de amonios cuaternarios:** son compuestos de amonio en los cuales, cuatro grupos orgánicos están ligados a un átomo de nitrógeno lo que produce un ion de carga positiva (catión) y el cloro es por lo general el anión. Los amonios actúan de forma diferente que los cloros y los yodos frente a los microorganismos. Forman una película residual bacteriostática cuando se aplican a las superficies, son selectivos en la destrucción de los microorganismos y, aunque no destruyen esporas, si inhiben su crecimiento. Son más estables en presencia de materia orgánica que los cloros y los yodos aunque su eficacia se ve disminuida. Se prefieren para la desinfección de superficies de acero inoxidable ya que no son

---

<sup>96</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 175

<sup>97</sup> Ibid., p. 176

<sup>98</sup> LELIEVELD, H. L. M. MOSTERT, M. A. y HOLAH, J. Op. cit., p. 77

corrosivos, así mismo no irritan la piel, no tienen sabor ni olor. Su toxicidad es baja y pueden inactivarse fácilmente usando detergentes aniónicos<sup>99</sup>. Se usan con mayor frecuencia en pisos, paredes y equipo. Tienen un alto poder de penetración por lo que son muy útiles en superficies porosas. Son agentes humectantes por naturaleza y tienen propiedades detergentes.

Los amonios cuaternarios son más efectivos en un rango de pH alcalino, aunque puede variar dependiendo del tipo de microorganismo. Por ejemplo, las bacterias gram-negativas son más susceptibles a los amonios en un rango de pH ácido. Se han utilizado de manera eficiente para la destrucción de *L. monocytogenes* y en la reducción del crecimiento de mohos<sup>100</sup>.

Entre las desventajas se tiene su efectividad limitada, sobre todo a microorganismos gram-negativos (exceptuando la *Salmonella* y el *E. coli*) y su incompatibilidad con detergentes aniónicos<sup>101</sup>.

**3.4.2.3. Desinfectantes a base de ácidos orgánicos:** se consideran toxicológicamente seguros y biológicamente activos. Los ácidos orgánicos como el acético, peroxiacético, láctico, propiónico y fórmico son los de uso más frecuente. Este tipo de desinfectantes actúan y desordenando las membranas celulares, luego disociando la molécula ácida, acidificando el interior de la célula<sup>102</sup>.

Se emplean este tipo de agentes después de la etapa final de enjuague dentro de un proceso de limpieza. Momento en el cual, el equipo debe ser sellado para evitar la recontaminación, es importante que se haya eliminado toda presencia de agentes limpiadores. No se corre el peligro de corrosión ya que se desempeña bien en superficies de acero inoxidable<sup>103</sup>.

Los ácidos tienen una acción rápida contra levaduras y virus, se desempeñan mejor con un pH inferior a 3.0. Tienen buenas

---

<sup>99</sup> LELIEVELD, H. L. M. MOSTERT, M. A. y HOLAH, J. Op. cit., p. 79

<sup>100</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 176

<sup>101</sup> MELROSE CHEMICAL. Op. cit., p. 12

<sup>102</sup> MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Op. cit., p. 179

<sup>103</sup> Ibid., p. 179

propiedades humectantes, no manchan y no son corrosivos, permitiendo periodos de exposición largos. Las aguas duras y la presencia de materia orgánica no tienen un efecto considerable en su desempeño. Pero la presencia de compuestos alcalinos o de surfactantes catiónicos si pueden hacerles perder toda su efectividad<sup>104</sup>.

**3.4.2.4. Biguanidas:** derivados de la guanidina, siendo las bis-guanidas o biguanidas poliméricas las más usadas como agentes bactericidas. Debido a su baja corrosividad y a que no son irritantes, se pueden usar con tiempos de contacto prolongados. Tienen buena estabilidad durante el almacenamiento y actúan sobre un amplio rango de pH. Su eficacia se ve reducida ante la presencia de materia orgánica<sup>105</sup>.

**3.4.2.5. Alcoholes:** los más utilizados en la industria de la desinfección son el alcohol etílico, alcohol isopropílico y *n*-propanol. Se utilizan particularmente para desinfectar superficies de equipos. Su concentración óptima se encuentra entre los 60 y 70% v/v, siendo mayores a las de las soluciones cloradas o los ácidos orgánicos para detener el crecimiento o alcanzar la inactivación de los microorganismos<sup>106</sup>.

Los alcoholes reaccionan rápidamente, tienen un amplio espectro de actividad antimicrobiana e inhiben el crecimiento de bacteria vegetativa, virus y hongos. Las esporas por su parte son resistentes al efecto del alcohol, pero si se combina a una concentración del 70% con temperaturas superiores a 65°C, se logra la inactivación de las mismas<sup>107</sup>.

**3.4.2.6. Aldehídos:** los aldehídos como el glutaraldehído y el formaldehído son efectivos contra bacterias, virus, mohos y esporas, tienen la ventaja de que se remueven fácilmente y son biodegradables. Sin embargo, la

---

<sup>104</sup> INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS. Analysis and evaluation of preventive control measures for the control and reduction/elimination of microbial hazards on fresh and fresh-cut produce. En: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Enero, 2003, vol. 2, suplemento 1, p.167

<sup>105</sup> LELIEVELD, H. L. M. y otros. Op. cit., p. 82

<sup>106</sup> Ibid., p. 82

<sup>107</sup> Ibid., p. 80

actividad de los aldehídos está influenciada por la presencia de proteína remanente, por lo que es indispensable un procedimiento de limpieza adecuado antes de la desinfección. Aunque los aldehídos no se consideran riesgosos para los humanos desde el punto de vista toxicológico, cuando se usan en las concentraciones adecuadas, es posible que es formaldehído pueda tener efectos mutagénicos<sup>108</sup>.

**3.4.2.7. Bisfenoles:** compuestos hidroxilo halogenados derivados del difenil metano, difenil éter y difenil sulfuro, son activos contra bacterias y hongos. Los bisfenoles más utilizados son el triclosán y el hexaclorofeno. El triclosán se usa actualmente como una capa antimicrobiana en los materiales de empaque y en las cintas transportadoras, aunque se debe tener cuidado ya que dependiendo de las impurezas presentes en los materiales, el triclosán puede contener concentraciones de dioxina y dibenzofuranos, que son sustancial tóxicas para los humanos, por lo que se debe tener conocimiento amplio del origen de los materiales a usar y de la forma de aplicación antes de ser empleado como un agente desinfectante. El hexaclorofeno está restringido por la FDA para ser usado en concentraciones inferiores al 0,1% y su aplicación se da más en casos de limpieza quirúrgica<sup>109</sup>.

### **3.5. AVANCES EN AGENTES DESINFECTANTES**

A medida que pasa el tiempo, se van dando desarrollos en todos los aspectos que conciernen a la industria alimenticia. Los agentes desinfectantes no son la excepción, el desarrollo de fórmulas seguras, eficientes y ambientalmente compatibles es importante para asegurar niveles adecuados de calidad y seguridad, mientras se ahorra energía y tiempo.

A la par con el uso de agentes físicos como el calor o agentes químicos como los compuestos clorados, yodados, etc, se están desarrollando y validando tecnologías emergentes para satisfacer la creciente demanda de nuevos desarrollos en el ámbito de la desinfección.

---

<sup>108</sup> LELIEVELD, H. L. M. y otros. Op. cit., p. 81

<sup>109</sup> Ibid., p. 82



Algunos de los avances más destacados se nombran a continuación.

**3.5.1. Ozono:** molécula compuesta por tres átomos de oxígeno, se forma a partir de aire seco cuando una molécula de oxígeno diatómico se rompe en radicales O\*, los cuales se unen a una nueva molécula de oxígeno diatómico. Su producción se logra generalmente empleando un campo eléctrico, luz ultravioleta o por medios electroquímicos. Gracias a que es un agente oxidante fuerte y a su reactividad, es posible emplearlo como agente de limpieza y desinfectante ya sea en forma acuosa o gaseosa.

Presenta ventajas sobre los limpiadores y desinfectantes tradicionales ya que se descompone rápidamente y no deja residuos tóxicos o indeseados, puede oxidar parcialmente la materia orgánica y las moléculas surfactantes presentes en las aguas de desecho de procesos de lavado, reduciendo su demanda química de oxígeno y facilitando su tratamiento biológico. La presencia de ozono permite la reducción de la temperatura de lavado ya que es más soluble a bajas temperaturas y, su uso reduce o incluso elimina la necesidad de almacenar grandes cantidades de agentes de limpieza y desinfectantes ya que es posible generarlo “in situ”<sup>110</sup>.

El ozono es un agente microbiano de amplio espectro, activo contra bacterias, hongos, virus y esporas. La inactivación de microorganismos tratados con ozono se le atribuye a la acción molecular directa sobre los microorganismos ya que ataca los constituyentes de la membrana y la pared celular (gasas insaturadas) y el contenido celular (enzimas y ácidos nucleicos) debido tanto al ozono residual (aquel que puede ser detectable en el medio después de su aplicación), como a los radicales libres producidos por su rompimiento molecular<sup>111</sup>.

Cada microorganismo tiene sensibilidad diferente respecto al ozono. Las bacterias, por ejemplo, son más sensibles que las levaduras y mohos. Y a su vez, las bacterias gram-positivas son más sensibles que las gram-negativas. Sin embargo, pese a que hay microorganismos que presentan resistencia a otros agentes como la *Cryptosporidium* y otras esporas bacterianas al cloro o la *Listeria monocytogenes* al amonio cuaternario, gracias al mecanismo de acción del ozono,

---

<sup>110</sup> JURADO-ALAMEDA, Encarnación y otros. Assessment of the use of ozone for cleaning fatty soils in the food industry. En: Journal of Food Engineering. Mayo, 2012, vol. 110, no. 1, p. 44

<sup>111</sup> PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. En: Trends in Food Science & Technology. Enero, 2007, vol 18, suplemento 1, p. S30

no es probable que se presente la resistencia de los microorganismos a este agente<sup>112</sup>.

Esta molécula se ha usado para la desinfección de agua para refrigeración de aves de corral reciclada y desinfección de canales de aves resultando en una disminución a niveles no viables de *Escherichia coli* posterior al tratamiento. Adicionalmente, no se presentó oxidación de lípidos, mal sabor o pérdida o desarrollo de color en la piel de las canales. También se han tratado frutas y verduras con ozono para incrementar su vida útil, como en el caso de las manzanas, las cuales además presentaron una reducción en su pérdida de peso y en su descomposición. También se evidenció la disminución del deterioro por hongos en moras y uvas. El conteo de mohos y bacterias se disminuyó notablemente sin alteraciones en la composición química y la calidad sensorial de cebollas tratadas con ozono<sup>113</sup>.

El ozono también puede ser empleado como agente desinfectante de superficies susceptibles de ser contaminadas por microorganismos. Comparada con el agua suplementada con desinfectantes clorados, el agua ozonizada logró una reducción igual de poblaciones bacterianas de *Pseudomonas fluorescens* y *Alcaligenes faecalis* inoculadas en platos de acero inoxidable (para simular los equipos de una planta de productos lácteos) del 99%. El tiempo es un factor esencial cuando se pretende utilizar el ozono como agente desinfectante. Cuando se expusieron cultivos de *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae* y *Bacillus licheniformis* a ozono a 0.6 ppm durante 1 minuto, no se tuvo un efecto apreciable, contrario a lo sucedido cuando, empleando la misma concentración, se amplió el tiempo de exposición a 10 minutos se logró una reducción media de la población bacteriana de 7.3 unidades logarítmicas<sup>114</sup>.

Otro aspecto a tener en cuenta cuando se desea tratar una superficie con un agente desinfectante, es el posible efecto adverso o incompatibilidad que pudiera existir. La corrosividad del ozono depende de la concentración empleada. A una concentración alta, el ozono puede corroer un equipo, pero estas concentraciones solo ocurren al interior del ozonizador y del sistema que lo inyecta. La mayoría de materiales son compatibles a concentraciones entre 1 a 3 ppm. El acero inoxidable

---

<sup>112</sup> PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Op. cit., p. S30

<sup>113</sup> GUZEL-SEYDİM, Zeynep B., GREENE, Annel K. y SEYDİM, A. C. Use of ozone in the food industry. En: Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie. Junio, 2004, vol. 37, no. 4, p. 456

<sup>114</sup> Ibid., p. 457

316 y 304 se comportan mejor ante la corrosión que el cloro. Los plásticos utilizados en la industria alimentaria como el teflón, el PVC y otros presentan una resistencia a la corrosión de buena a excelente. Por otro lado, el caucho natural es altamente sensible, llegando a la desintegración total cuando entra en contacto con ozono y la silicona se oxida cuando se expone durante tiempos prolongados<sup>115</sup>

Respecto a su relación con la temperatura, no existe un consenso en cuanto al efecto bactericida del ozono. Un descenso en la temperatura aumenta la solubilidad y estabilidad del ozono en el agua y por lo tanto se aumenta su disponibilidad en el medio y su eficacia, mientras que un aumento de la temperatura, incrementa la proporción de microorganismos destruidos por los desinfectantes en general<sup>116</sup>.

Para aplicar ozono existen dos métodos principales, en forma gaseosa y como agua ozonizada. Cuando se aplica como gas, se requieren tiempos de exposición mayor, entre 1 y 4 horas, mientras que el agua ozonizada requiere un tiempo de 1 a 10 minutos<sup>117</sup>. El ozono gaseoso es más reactivo, más estable y tiene mayor penetrabilidad, especialmente cuando se aplica bajo presión y a bajas temperaturas. El ozono gaseoso presurizado presenta un comportamiento similar al del peróxido de hidrogeno en la inactivación de *Salmonella*<sup>118</sup>. Algunos estudios recientes han examinado la posibilidad de aplicar el ozono mediante la nebulización de agua ozonizada, seguido de la carga electrostática de la niebla para aumentar su eficacia<sup>119</sup>.

Un aspecto a tener en cuenta con el ozono es su toxicidad, la cual varía dependiendo de su concentración y el periodo de exposición. Los síntomas resultantes de una exposición al ozono en una concentración de 0,1 a 1,0 ppm son dolor de cabeza, resequedad en la garganta, irritación del sistema respiratorio y escozor en los ojos. Cuando la concentración esta entre 1,0 y 100 ppm, se pueden sentir síntomas similares a los del asma, cansancio y pérdida de apetito. Los límites de exposición permitidos por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) son de 0,1 ppm, concentración a la cual puede estar

---

<sup>115</sup> PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Op. Cit. p. S31

<sup>116</sup> Ibid., p. S29

<sup>117</sup> Ibid., p. S31

<sup>118</sup> MUKHOPADHYAY, Sudarsan y RAMASWAMY, Raghupathy. Application of emerging technologies to control *Salmonella* in foods. A review. En: Food Research International. Marzo, 2012, vol. 45, no. 2, p. 667

<sup>119</sup> PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Op. Cit. p. S31

expuesto un individuo susceptible continuamente bajo condiciones normales de trabajo (8 horas diarias 40 horas semanales) sin efectos adversos. Para una exposición a corto plazo (menos de 15 minutos de exposición no más de 4 veces al día con intervalos de 1 hora entre cada exposición corta) es de 0,3 ppm. Exposiciones a corto plazo con concentraciones elevada pueden causar irritación de garganta, hemorragia y congestión pulmonar<sup>120</sup>.

**3.5.2. Ultrasonido:** es el fenómeno generado a partir de vibraciones mecánicas aplicadas a frecuencias entre los 20 kHz y 10 MHz, cuando se emplean frecuencias entre 20 y 100 kHz, se habla de ultrasonido de potencia<sup>121</sup>. Las ondas ultrasónicas o ultrasonido se ha utilizado para la extracción de aromas y otros materiales vegetales, congelamiento de alimentos, inspección de empaques alimenticios, monitoreo de la temperatura, caracterización y análisis de alimentos e inactivación de microbios y enzimas<sup>122</sup>.

Los métodos físicos convencionales para la inactivación de microorganismos involucran el tratamiento térmico. A menudo estos tratamientos son responsables de la formación de sabores indeseables y la pérdida de nutrientes en tanto que las ondas sonoras generadas por el ultra sonido se consideran seguras, no tóxicas y ambientalmente amigables<sup>123</sup>.

El mecanismo de destrucción microbiano de la ultrasonicación, como se le conoce también a este método, se debe al adelgazamiento de la membrana celular, el calentamiento localizado y la producción de radicales libres. Durante el proceso de ultrasonicación se crean ondas longitudinales cuando la onda sónica se encuentra con un medio líquido, creando regiones de compresión y expansión alternante. En estas regiones se produce cavitación lo que forma burbujas en el medio, estas burbujas poseen un área superficial mayor durante el ciclo de expansión lo que incrementa la difusión de gas. Se llega a un punto en el que la energía ultrasónica no es suficiente para retener la fase de vapor en la burbuja por lo que se da una rápida condensación. Estas ondas de choque crean regiones de alta temperatura y presión, alcanzando los 5500°C y 50000 kPa. El cambio en la presión resultante

---

<sup>120</sup> PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Op. cit., p. S30

<sup>121</sup> PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. En: International Journal of Food Microbiology. Noviembre, 2003, vol. 87, no. 3, p. 208

<sup>122</sup> MUKHOPADHYAY, Sudarsan y RAMASWAMY. Op. cit., p. 671

<sup>123</sup> ERSUS BILEK, Seda y TURANTAS, Fulya. Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. En: International Journal of Food Microbiology. Agosto, 2013, vol. 166, no. 1, p. 208

de estas implosiones es entonces el principal efecto bactericida. El inconveniente se presenta ya que las zonas calientes que se forman son muy localizadas y no afectan un área lo suficientemente grande<sup>124</sup>.

La efectividad de la ultrasonificación depende del microorganismo a ser tratado ya que presentan resistencia a los efectos del tratamiento, especialmente las esporas. Se necesitarían periodos prolongados. Para que tenga un uso práctico, se debe emplear esta técnica combinada con presión (manosonicación), con calor (termosonicación) o con ambas (manotermosonicación), ya que se mejora la disrupción mecánica de las células, mejorando así la muerte de las mismas. Adicionalmente, también se ha sugerido que se puede mejorar la ultrasonificación, combinándola con otras técnicas como la variación del pH y la cloración<sup>125</sup>.

Se ha utilizado la ultrasonificación en microorganismos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, entre otros. Respecto a la *L. monocytogenes*, se ha encontrado que el tratamiento ultrasónico a 20 kHz, amplitud de 117  $\mu\text{m}$  y temperatura ambiente no fue muy efectiva, sin embargo, este efecto se vio mejorado cuando se incrementó la presión a 200 kPa y 400 kPa logrando una reducción del tiempo requerido para disminuir la actividad bacteriana, de 4.3 min inicialmente, a 1.5 y 1 min respectivamente. De igual forma, la combinación de ultrasonido y el aumento de temperatura hasta 50°C no tuvo un efecto significativo, sin embargo cuando se aumentó la temperatura por encima de este punto, se notó un efecto considerablemente mejor<sup>126</sup>.

En cuanto al tratamiento de la *Salmonella spp.* Se encontró que utilizando piel del muslo de pollo como medio, un tratamiento previo al congelamiento con ondas sónicas de 47000 Hz y 200 W no presentó reducción en los recuentos aeróbicos en placa después de 0, 7 y 14 días de almacenamiento. Este comportamiento se debe presuntamente a la irregularidad en la superficie de la piel, la cual pudo brindar una protección física a los microorganismos. Se observó también que el recuento fue mayor en el periodo de 7 días para las pieles tratadas con ultrasonificación, pero retornó a los mismos niveles que aquellas muestras que no recibieron el tratamiento después de 14 días, se concluyó que este fenómeno fue posible por el incremento en la disponibilidad de nutrientes que pudo haber

---

<sup>124</sup> PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Op. cit. p. 208

<sup>125</sup> AWAD, T. S. y otros. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. En: Food Research International. Octubre, 2012, vol. 48, no. 2, p. 421

<sup>126</sup> PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Op. cit. p. 210

generado la ultrasonificación. El chocolate por su parte, mostró una reducción de 4 unidades logarítmicas cuando fue sometido a ultrasonido a 160 kHz y 100W durante 10 minutos en agua peptonada<sup>127</sup>. Una forma más efectiva de tratar la *Salmonella* se logró cuando se usó en combinación de ultrasonido con una solución de 0.5 ppm de cloro para tratar piel de pechuga de pollo. Mientras que el tratamiento con cloro logró una reducción en la población de 1 unidad logarítmica, el tratamiento combinado alcanzó una reducción entre 2,44 y ,.93 unidades logarítmicas<sup>128</sup>.

El *Bacillus subtilis* fue tratado con ondas ultrasónicas combinadas con calor en tres medios diferentes, agua destilada, leche y glicerol, las esporas sometidas primero a ultrasonido a 20 kHz y 150 W y después expuestas a 100°C no tuvieron un efecto mejor al de haber utilizado solo el tratamiento térmico, sin embargo una termosonificación por encima de los 100°C de entre 63% y 74% en glicerol y de 40% y 79% en leche. En el agua se logró una disminución de entre el 70% y 99,9% cuando la temperatura se encontraba entre 70°C y 95°C, pero cuando se acerca a los 100°C se presenta ebullición y el efecto disminuye<sup>129</sup>.

Los estudios reportados sobre la aplicación de ultrasonido se centran en describir los efectos de éste sobre un microorganismo específico, empleando un medio particular y condiciones determinadas para cada caso, por lo tanto, no es universal el concepto satisfactorio o negativo en cuanto a uso de esta técnica.

**3.5.3. Agua electrolizada oxidante:** producida pasando una solución salina diluida a través de una celda electrolítica, en la cual, el ánodo y el cátodo están separados por una membrana. Al someter los electrodos a una corriente continua, los iones negativamente cargados se mueven hacia mientras que los positivos se mueven hacia el cátodo como se observa en la figura 2. Dos tipos de agua se producen simultáneamente, agua electrolizada oxidante (EO) con pH bajo y potencial de óxido-reducción alto (pH entre 2,3 y 3,7 y POR>1000 mV), además de oxígeno disuelto y cloro libre. También se produce agua electrolizada reducida con pH y POR bajos (pH entre 10,0 y 11,5 y POR<-800 mV) e hidrógeno disuelto. Esta última, que posee un potencial reductor alto, se puede emplear para remover

---

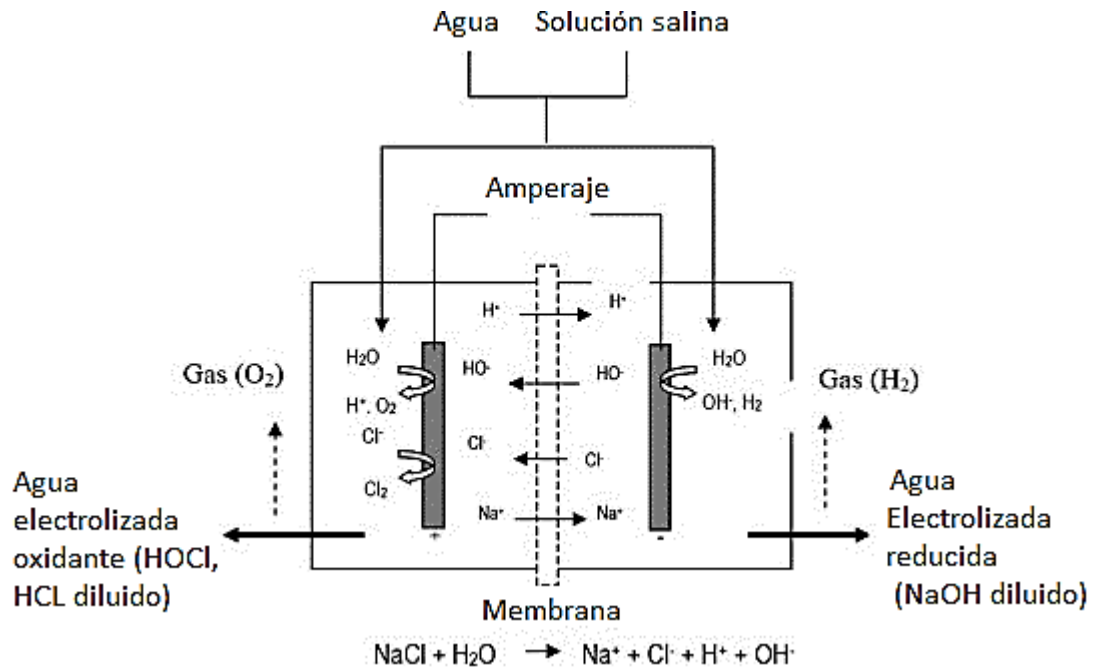
<sup>127</sup> PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Op. cit. p. 210

<sup>128</sup> LILLARD, H. S. Bactericidal effect of chlorine on attached salmonellae with and without sonication. En: Journal of Food Protection. Agosto, 1993, vol. 56, no. 8, p. 716

<sup>129</sup> PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Op. Cit. p. 212

suciedad y grasa de elementos como tablas de picado y otros utensilios de cocina.<sup>130</sup>

**Figura 2.** Esquema de un generador de agua electrolizada y los compuestos producidos



Fuente: HUANG, Yu-Ru y otros. Application of electrolyzed water in the food industry. En: Food Control. Abril, 2004, vol. 19, no. 4, p. 331

El agua EO se considera segura, ya que a pesar de ser un ácido fuerte, difiere del ácido clorhídrico y sulfúrico en que no es corrosivo para la piel, membranas mucosas o material orgánico. Cuando entra en contacto con este último, se diluye en agua o se le aplica ósmosis inversa, el agua EO se vuelve agua corriente nuevamente, así, su impacto ambiental y a la salud de los usuarios es menos adverso. Además, comparada con las técnicas tradicionales de desinfección, el agua EO reduce los tiempos de limpieza, es fácil de manejar, no tiene efectos secundarios y es relativamente más económica ya que se produce “in situ” y sus costos operacionales sólo están asociados al agua, sal y energía necesarios para operar la unidad generadora. El punto negativo respecto al uso de agua EO es

<sup>130</sup> HUANG, Yu-Ru y otros. Application of electrolyzed water in the food industry. En: Food Control. Abril, 2004, vol. 19, no. 4, p. 331

que la solución pierde rápidamente su actividad antimicrobiana si no se supe constantemente con H<sup>+</sup>, HOCl y Cl por electrólisis<sup>131</sup>.

Los estudios de la actividad bactericida del agua EO incluyen *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Campylobacter jejuni*, *Enterobacter aerogenes* y *Vibrio parahaemolyticus*. El agua EO también es efectiva reduciendo la germinación de hongos como *Alternaria spp.*, *Bortrytis spp.*, *Cladosporium spp.*, *Pestalotia spp.*, *Phomopsis longicolla*, *Rhodosporium toruloides*, *Thricoderma spirale*, *Aspergillus spp*, entre otros. Se presume que el agua EO puede modificar los flujos metabólicos y la producción de ATP, probablemente debido al cambio en el flujo de electrones de la célula. El pH bajo puede sensibilizar la membrana externa de las células bacterianas para permitir la entrada de HOCl el cuál, al ser el más activo de los compuestos clorados, parece matar la célula inhibiendo la oxidación glucosa<sup>132</sup>.

El agua EO con pH de 2,53, POR de 1178 mV y 53 mg/L de cloro se ha empleado en la desinfección de tablas de picado, también sirve para reducir la población de *Enterobacter aerogenes* y *Staphylococcus aureus* en vidrio, acero, baldosas de cerámica vidriada o no y superficies de cerámica vitrificada. La técnica utilizada fue la inmersión de estas superficies en agua EO durante 5 minutos con una agitación de 50 rpm. La disminución alcanzó un valor inferior a 1 UFC/cm<sup>2</sup>. El uso de agua EO con pH de 6,8 y 20 mg/L de cloro libre, en zanahoria, pimientos espinaca, rábano y papas logró una reducción de 0,6 a 2,6 unidades logarítmicas. Al poner en remojo alas de pollo en agua EO con pH de 2,57, POR de 1082 mV y 50 mg/L de cloro libre con agitación a 100 rpm durante 30 minutos se obtuvo una reducción de 3 unidades logarítmicas de *Campylobacter jejuni*<sup>133</sup>. Para el tratamiento de hojas de lechuga inoculadas con *Listeria monocytogenes*, agua EO con pH de 2,83 y 28,72 mg/L de cloro libre logró una reducción de 6.6 unidades logarítmicas después de 5 minutos de exposición. Cuando se utilizó ácido acético al 0.6% después de someterlas al agua EO, se logró una reducción adicional de 5,49 unidades logarítmicas<sup>134</sup>.

---

<sup>131</sup> HUANG, Yu-Ru y otros. Op. cit., p. 332

<sup>132</sup> Ibid., p. 332

<sup>133</sup> Ibid., p. 335

<sup>134</sup> CASADIEGO, Laid Paola y otros. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Listeria monocytogenes* in lettuce. En: Universitas Scientiarum. Enero-Junio, 2005, vol. 10, no. 1, p. 102



Una característica del agua EO es que contiene tanto componentes ácidos como alcalinos, por lo tanto se aprovechó esta situación para simular su uso potencial en sistemas de limpieza in situ (CIP: Cleaning In Place), para esto se limpiaron pequeños componentes de un CIP utilizados en la industria láctea (partes en acero inoxidable, revestimientos de goma y anillos de goma) inoculados con *Pseudomonas fluorescens*, *Micrococcus luteus*, *Enterococcus faecalis* y *Escherichia coli*. El agua EO alcalina tenía un pH de 11,3 POR de -850 mV y la parte ácida tenía un pH de 2,6 POR de 1150 mV. Los materiales fueron sumergidos primero en la solución alcalina y después trasladados a la solución ácida. No se empleó agitación para simular áreas de bajo flujo dentro de las tuberías. Los tiempos de tratamiento en ambas soluciones fueron de 5 a 20 minutos y la temperatura fue de 25°C a 60°C. Se encontró que un tratamiento durante 10 minutos a una temperatura de 60°C resultó en niveles indetectables de microorganismos<sup>135</sup>.

**3.5.4. Desinfección por dióxido de carbono a alta presión (HPCD):** el tratamiento consiste en poner en contacto el alimento bien sea con CO<sub>2</sub> en estado subcrítico o supercrítico durante un tiempo determinado. El CO<sub>2</sub> supercrítico está a una temperatura y presión por encima de su punto crítico (T<sub>c</sub>=31.1°C, P<sub>c</sub>=7.38 MPa), mientras que el subcrítico, ya sea gas o líquido, se encuentra por debajo de este punto<sup>136</sup>. El CO<sub>2</sub> no es tóxico, por lo que no es dañino para el medio ambiente, además, la presión empleada para los procesos de desinfección (<20 MPa) es menor que la empleada en otros procesos como el de presión hidrostática elevada (HHP, entre 300 y 600 MPa)<sup>137</sup>.

El CO<sub>2</sub> presurizado es letal ya que afecta directamente a los constituyentes moleculares o disociándose en sus especies iónicas reactivas como bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e hidrógeno (H<sup>+</sup>). Estos a su vez afectan a la permeabilidad de la membrana celular y a las propiedades de los constituyentes intracelulares. Además, la disolución del CO<sub>2</sub> en agua o productos alimenticios genera ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y el pH resultante mejora la penetración celular.

---

<sup>135</sup> WALKER, Stephen y otros. Response Surface modelling for cleaning and disinfecting materials used uin milking systems with electrolyzed oxidizing water. En: International Journal of Dairy Technology. Mayo, 2005, vol. 58, no. 2, p. 65

<sup>136</sup> GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. Influence of type of microorganism, food ingredients and food properties on high-pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms. En: International Journal of Food Microbiology. Febrero, 2009, vol. 129, no. 3, p. 253

<sup>137</sup> GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. En: International Journal of Food Microbiology. Junio, 2007, vol. 117, no. 1, p. 3

La función metabólica de la célula afectada es alterada por los cambios en su pH, actividad enzimática, balance electrolítico y por la lixiviación de sus componentes internos. Ninguno de estos cambios en particular es el responsable del efecto microbicida del CO<sub>2</sub> presurizado, se plantea la hipótesis de que todos estos efectos actúan de forma sinérgica<sup>138</sup>.

Además del CO<sub>2</sub>, otros gases como el nitrógeno, el tetrafluoroetano, el argón y combinaciones de nitrógeno y oxígeno fueron utilizados como gases presurizados para la desinfección, pero todos ellos presentaron poco o ningún efecto en la reducción celular<sup>139</sup>.

Respecto a las variables que afectan el comportamiento del HPCD, se sabe que en general, la inactivación microbiana es acelerada con el incremento de la presión de CO<sub>2</sub>. Como consecuencia, los tiempos de exposición se reducen para inactivar las células al mismo nivel. En cuanto a la temperatura, la rata de inactivación se acelera al incrementar la temperatura (manteniendo las demás condiciones igual). Temperaturas superiores estimulan la difusividad del CO<sub>2</sub> y puede también incrementar la fluidez de la membrana celular para hacer más fácil la penetración. Sin embargo, el HPCD no debería realizarse a temperaturas demasiado elevadas ya que se podría deteriorar la calidad del alimento. La agitación por su parte, puede mejorar la solubilización del CO<sub>2</sub> y su contacto con células microbianas<sup>140</sup>.

Dependiendo de la temperatura y la presión, los tratamientos de HPCD se pueden hacer en estado subcrítico o supercrítico. El CO<sub>2</sub> supercrítico es más efectivo gracias a que presenta una densidad similar a la de un líquido, mientras que su propiedades de transferencia de masa (como la viscosidad y la difusividad) son más cercanas a las de un gas. La similitud con un líquido permite un mayor poder de solvatación comparado con el estado gaseoso. Por otro lado, su estado parecido al gaseoso mejora la rata de difusión comparada con el estado líquido. Ambas propiedades permiten penetrar más fácilmente en la célula y extraer los componentes intracelulares<sup>141</sup>.

---

<sup>138</sup> MUKHOPADHYAY, Sudarsan y RAMASWAMY, Raghupathy. Op. cit. p. 673

<sup>139</sup> GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. p. 6

<sup>140</sup> Ibid., p. 8

<sup>141</sup> Ibid., p. 8

La sensibilidad de los microorganismos al tratamiento con HPCD varía de acuerdo a la especie, sin embargo, es difícil hacer una comparación debido a la variedad de equipos, medios, condiciones y microorganismos estudiados. En general, se espera que los gram-positivos sean más resistentes que los gram-negativos debido a que la composición de su pared celular es más gruesa. En la tabla X se resumen algunos de estos hallazgos<sup>142</sup>.

**Tabla 6.** Origen, tipo y composición de la suciedad según el tipo de alimento

Microorganismo o objetivo	Solución	Tipo de microorganismo	Condiciones de proceso	Reducción
<i>Escherichia coli</i>	Agua destilada	G-	20 MPa, 35 °C, 120 min	5.1D
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Agua destilada	Levadura	20 MPa, 35 °C, 120 min	6.3D
<i>Staphylococcus aureus</i>	Agua destilada	G+	20 MPa, 35 °C, 120 min	4.8 D
<i>Lactobacillus brevis</i>	Solución salina	G+	25 MPa, 35 °C, 15 min	6D
<i>S. cerevisiae</i>	Solución salina	Levadura	25 MPa, 35 °C, 15 min	5D
<i>E. coli</i>	Solución buffer de fosfato	G-	31.03 MPa, 35 °C, 40 min	3.5D
<i>S. aureus</i>	Solución buffer de fosfato	G+	31.03 MPa, 35 °C, 30 min	7D
<i>E. coli</i>	Sistema de carne molida	G-	31.03 MPa, 42.5 °C, 180 min	1D
<i>E. coli</i>	Discos de papel de filtro hidrófilo	G-	5 MPa, Temperatura ambiente, 420 min	6D
<i>Enterococcus faecalis</i>	Discos de papel de filtro hidrófilo	G+	5MPa, Temperatura ambiente, 420 min	2D
<i>S. cerevisiae</i>	Discos de papel de filtro hidrófilo	Levadura	5 MPa, Temperatura ambiente, 420 min	3D

Fuente: GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. En: International Journal of Food Microbiology. Junio, 2007, vol. 117, no. 1, p. 3

<sup>142</sup> Ibid., p. 12

**3.5.5. Bacteriófagos:** son agentes de biocontrol novedosos como los bacteriófagos líticos. Están ganando importancia gracias a que las bacterias con el paso del tiempo se vuelven resistentes a los antibióticos. Los bacteriófagos son virus capaces de lisar bacterias específicas penetrando su membrana celular e interrumpiendo sus procesos metabólicos. La presencia ubicua de estos fagos y su flexibilidad en la preparación para actuar contra cepas de serotipos específicos o de cualquier bacteria patógena los convierten en una alternativa para el tratamiento de productos alimenticios frescos<sup>143</sup>.

La aplicación de un coctel de fagos con una especificidad para *Salmonella enteritidis* en trozos de melón dulce y rodajas de manzana logró ser más efectiva que los desinfectantes químicos, llegando a una reducción en la población de *Salmonella* inoculada de 2.5 a 3.5 unidades logarítmicas<sup>144</sup>.

Por ser una tecnología relativamente nueva, es importante extender sus estudios para encontrar los parámetros ideales para su aplicación exitosa.

---

<sup>143</sup> MUKHOPADHYAY, Sudarsan y RAMASWAMY, Raghupathy. Op. cit., p. 674

<sup>144</sup> Ibid., p. 674

#### 4. CONCLUSIONES

- El panorama actual de la industria alimentaria en Colombia exige la implementación de buenas prácticas de manufactura para asegurar un alimento de calidad y sugiere la implementación de un plan HACCP para asegurar su inocuidad. Un factor fundamental dentro de este marco normativo es la implementación de un programa de limpieza y desinfección.
- El programa de limpieza y desinfección está soportado principalmente por el uso de agentes limpiadores y desinfectantes. El éxito del mismo está en seleccionar los agentes adecuados para caso particular, ya que cada situación dentro de la industria y en general, en cualquier servicio que involucre alimentos es diferente y no se debe generalizar, es necesario validar cualquier implementación.
- Si bien, al día de hoy prevalece el uso de sustancias químicas tradicionales, el mercado exige el desarrollo de nuevas sustancias y técnicas que sean más eficientes, fáciles de usar, inocuas para el ser humano y el medio ambiente, disminuyan los tiempos de proceso y los costos operacionales.
- La tendencia en el desarrollo de tecnologías de limpieza y desinfección apunta a la disminución del uso de sustancias químicas sintéticas y peligrosas, favoreciendo el uso de sustancias más naturales como ozono, agua o dióxido de carbono o aprovechando las propiedades físicas como en el caso del ultrasonido.

## BIBLIOGRAFÍA

AWAD, T. S. y otros. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. En: Food Research International. Octubre, 2012, vol. 48, no. 2, p. 410-427

CASADIEGO, Laid Paola y otros. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Listeria monocytogenes* in lettuce. En: Universitas Scientiarum. Enero-Junio, 2005, vol. 10, no. 1, p. 97-108

CASAS ALCANTARILLA, Esperanza. Microorganismos Responsables de Alteraciones en Alimentos Altamente Azucarados. Memoria presentada para optar por el título de Doctor en Ciencias Biológicas: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas, 1999. 188 p

CODEX ALIMENTARIUS. CAC/RCP 1-1969 Principios generales de higiene de los alimentos [En línea]. Codex Committee on Food Hygiene, 2003 [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/>

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 (23, diciembre, 1997). Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 9 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1997, no. 43205.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 60 (18, enero, 2002). Por el cual se promueve la aplicación del sistema de análisis de peligros y puntos de control críticos - HACCP - en las fábricas de alimentos y se reglamenta el proceso de certificación. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2002, no. 44686.

COLOMBIA. SUBDIRECCIÓN DE SALUD NUTRICIONAL, ALIMENTOS Y BEBIDAS. Documento plan de acción para el fortalecimiento del sistema nacional de gestión de inocuidad de los alimentos. Bogotá D.C.: Impresol, 2013, 108 p.

EPA. Food irradiation [En línea]. Washington, D.C. Environmental Protection Agency, 2 de Julio de 2013 [citado en 1 de mayo de 2014]. Disponible en internet: [http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/food\\_irrad.html](http://www.epa.gov/rpdweb00/sources/food_irrad.html)

ERSUS BILEK, Seda y TURANTAS, Fulya. Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. En: International Journal of Food Microbiology. Agosto, 2013, vol. 166, no. 1, p. 155-162

ESCAMILLA LAZCANO, José Luis. Buenas prácticas de manufactura y procedimientos de operación estándar de sanidad para la industria láctea. Tesina para obtener el título de Ingeniero Industrial. Tulancingo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias, 2007. 75 p

ESCOBAR VALENCIA, Miriam. Conceptos básicos de calidad e inocuidad. En: Diplomado BPM-HACCP para industria de alimentos (16: 19 abril - 9 de agosto: Cali, Valle). Memorias. Universidad del Valle, 2013, 93 p

FAO. ¿Qué es la seguridad alimentaria y nutricional? [En línea]. FAO. [citado en 2 de octubre de 2013]. Disponible en internet: <http://coin.fao.org/cms/world/guatemala/Paginalnicial/SeguridadAlimentariaYNutricional.html>

FRASER, Angela M. Peligros de Origen Microbiano. En: Food Safety [En línea]. Clemson University, marzo, 2010. 9 p. [citado en 5 de junio de 2014]. Disponible en internet: <  
<http://www.foodsafetysite.com/resources/world/SpanishFoodservice/SPSection2.doc>>

GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. En: International Journal of Food Microbiology. Junio, 2007, vol. 117, no. 1, p. 1-28

GARCIA-GONZALEZ, L. y otros. Influence of type of microorganism, food ingredients and food properties on high-pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms. En: International Journal of Food Microbiology. Febrero, 2009, vol. 129, no. 3, p. 253-263

GUZEL-SEYDIM, Zeynep B., GREENE, Annel K. y SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. En: Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie. Junio, 2004, vol. 37, no. 4, p. 453-460

HARREL, R.M. Striped bass and other morone culture. En: Developments in Aquaculture and Fisheries Science, vol. 30. Amsterdam: Elsevier, 1997, 365 p.

HELDMAN, Dennis R., LUND, Daryl B. Handbook of food engineering. Boca Raton: CRC Press, 2005, 1023 p.

HUANG, Yu-Ru y otros. Application of electrolyzed water in the food industry. En: Food Control. Abril, 2004, vol. 19, no. 4, p. 329-345

INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS. Analysis and evaluation of preventive control measures for the control and reduction/elimination of microbial hazards on fresh and fresh-cut produce. En: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Enero, 2003, vol. 2, suplemento 1, p. 1-204

JARAMILLO, Lina. Limpieza y desinfección: Haciendo la mejor elección. En: Diplomado BPM-HACCP para industria de alimentos (16: 19 abril - 9 de agosto: Cali, Valle). Memorias. Universidad del Valle, 2013, 52 p.

JAY, James M. Modern Food Microbiology, Sixth Edition. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000, 767 p.

JURADO-ALAMEDA, Encarnación y otros. Assessment of the use of ozone for cleaning fatty soils in the food industry. En: Journal of Food Engineering. Mayo, 2012, vol 110, no. 1, p. 44-52

KHARS, R. F. Principios generales de la desinfección. En: Revue Scientifique et Technique de L'Office International des Epizooties. 1995, vol. 14, no. 1, p. 143-163

KIREZIEVA, Klementina y otros. Assessment of food safety management systems in the global fresh produce chain. En: Food Research International. Junio, 2013, vol. 52, no. 1, p. 230-242

LELIEVELD, H. L. M. MOSTERT, M. A. y HOLAH, J. Handbook of hygiene control in the food industry. Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2007, 700 p.

LILLARD, H. S. Bactericidal effect of chlorine on attached salmonellae with and without sonication. En: Journal of Food Protection. Agosto, 1993, vol. 56, no. 8, p. 716-717



LÓPEZ GARCÍA, José Luis, BERGA MONJE, Alberto. Prerrequisitos del APPCC: Planes de limpieza y desinfección. En: Curso de Seguridad Alimentaria [En línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, marzo de 2007. [citado en 15 de enero de 2014]. Disponible en internet: <http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/seguridad-alimentaria>

MARRIOT, Norman G., GRAVANI, Robert B. Principles of food sanitation, Fifth Edition. New York: Springer Science+Business Media, Inc., 2006, 413 p.

MELROSE CHEMICAL. Cleaning and disinfecting in the food processing industry [En línea]. Quebec: Melrose Chemical Ltd. [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.melrosechem.com/english/publicat/general/cleaning.pdf>

MILIOTIS, Marianne y BIER, Jeffrey. International Handbook of Foodborne Pathogens. New York: Marcel Dekker, Inc. 2003, 847 p.

MUKHOPADHYAY, Sudarsan y RAMASWAMY, Raghupathy. Application of emerging technologies to control Salmonella in foods. A review. En: Food Research International. Marzo, 2012, vol. 45, no. 2, p. 666-677

OMS. 10 datos sobre la inocuidad de alimentos [En línea]. OMS. [Citado el 7 de abril de 2014]. Disponible en internet: [http://www.who.int/features/factfiles/food\\_safety/facts/es/](http://www.who.int/features/factfiles/food_safety/facts/es/)

OMS. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2007, 28 p.

ONU. Día mundial de la población [En línea]. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 11 de julio de 2013 [citado en 11 de septiembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.un.org/es/events/populationday/>

OPOLSKI MEDEIROS, Caroline y otros. Assessment of the methodological strategies adopted by food safety training programmes for food service workers: A systematic review. En: Food Control. Agosto, 2011, vol. 22, no. 8, p. 1136-1144

PARK, Se-Keum y KIM, Yeong-Kwam. Effect of chloramine concentration on biofilm maintenance on pipe surfaces exposed to nutrient-limited drinking water. En: Water S.A. Julio, 2008, col. 34, no. 3, p. 373-380

PASCUAL, A. LLORCA, I y CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. En: Trends in Food Science & Technology. Enero, 2007, vol 18, suplemento 1, p. S29-S35

PIYASENA, P. MOHAREB, E. y MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. En: International Journal of Food Microbiology. Noviembre, 2003, vol. 87, no. 3, p. 207-216

RAO P. N., Sridhar. Sterilization and disinfection [En línea]. Karnataka: Sridhar Rao P. N's homepage. 2008. p. 1. [citado en 28 de abril de 2013]. Disponible en internet: < <http://www.microrao.com/micronotes/sterilization.pdf>>

WALKER, Stephen y otros. Response Surface modelling for cleaning and disinfecting materials used in milking systems with electrolyzed oxidizing water. En: International Journal of Dairy Technology. Mayo, 2005, vol. 58, no. 2, p. 65-73