

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA**



**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADO EN QUÍMICA**

**TITULADO:**

**“MÉTODOS DE DESINFECCIÓN  
PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA”**

**Elaborado por  
RAQUEL GLORIA POZO SOTO**

**Asesor :  
ADOLFO LA ROSA TORO GOMEZ**

**LIMA – PERU  
2009**

**MÉTODOS DE  
DESINFECCIÓN PARA  
LA POTABILIZACIÓN  
DEL AGUA**

# ÍNDICE

	Pág
INTRODUCCION	7
OBJETIVO	9
<b>CAPITULO 1:</b>	
ASPECTOS GENERALES	
1.1. EL AGUA	12
1.2. EFECTOS EN LA SALUD	13
1.3. TIPOS DE MICROORGANISMOS	16
1.4 ASPECTOS REGLAMENTARIOS Y NORMATARIOS	24
1.5 ESTANDARES DE CALIDAD DEL AGUA	26
1.6 MEDIOS DE DESINFECCION MAS COMUNES	27
<b>CAPITULO 2:</b>	
2.1 MÉTODOS CLÁSICOS PARA LA DESINFECCION DEL AGUA	29
2.2. APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS CLÁSICOS	30
2.2.1 DESINFECCION CON CLORO	30
2.2.2 DESINFECCION CON DIÓXIDO DE CLORO	33
2.2.3 DESINFECCION CON HIPOCLORITO DE SODIO	38
2.2.4 DESINFECCION CON OZONO	41
2.2.5 DESINFECCION CON IONIZACION COBRE Y PLATA	44

## **CAPITULO 3:**

### **MÉTODOS AVANZADOS DE LOS DESINFECTANTES DEL AGUA**

<b>3.1.</b>	<b>DESINFECCION CON RADIACION ULTRAVIOLETA</b>	<b>51</b>
3.1.1	Radiación Ultravioleta como descontaminante de alimentos	57
<b>3.2</b>	<b>DESINFECCION POR FOTOCATALISIS</b>	<b>61</b>
<b>3.3.</b>	<b>ELECTROQUÍMICA DEL AGUA</b>	<b>63</b>
<b>3.4</b>	<b>TECNOLOGIA</b>	<b>65</b>
3.4.1	Producción de agua Electrolizada para la Eliminación de Microorganismo en la lechuga	71
<b>3.5.</b>	<b>POTENCIAL DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN (POR)</b>	<b>74</b>
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>80</b>
<b>V.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>81</b>
<b>VI</b>	<b>ANEXOS</b>	
(1)		84
	<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
	<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>7</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

pag

### Capítulo 1

Figura 1.1	El agua debe ser de la mejor calidad posible para el consumo humano	13
Figura 1.2	Gastroenteritis Agudas y Diarreas Escherichia coli enterotoxinógena	15
Figura 1.3	Tres tipos diferentes de virus	17
Figura 1.4	E. Coli Bacteria	18
Figura 1.5	Esporas de Cryptosporidium	19
Figura 1.6	Quistes de Giardia	19
Figura 1.7	Legionela Bacteria	19
Figura 1.8	Cultivo de Gérmenes en Laboratorio	24

### Capítulo 2

Figura 2.1	Formas Químicas del Cloro libre en Función del pH	32
Figura 2.2	Efecto de los iones Cu/Ag sobre una Célula viva	47
Figura 2.3	Perforación de la membrana celular	48
Figura 2.4	Penetración de los iones	48
Figura 2.5	Muerte de las Celulas	49

### **Capitulo 3**

Figura 3.1	Equipo de radiación UV	52
Figura 3.2	La doble hélice del ADN- la cadena de vida	53
Figura 3.3	Radiación Ultravioleta Como Descontaminante de alimentos	58
Figura 3.4	Celda Electrolítica	64
Figura 3.5	Activación Electroquímica	65
Figura 3.6	Electrodo para Potencial de Oxidación – Reducción	74

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **Capitulo 1**

Tabla 1.1	Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables	15
Tabla 1.2	principales Enfermedades	20
Tabla 1.3	Normas microbiológicas O.M.S	25

### **Capitulo 2**

Tabla 2.1	Eficacia biocida, estabilidad y efecto del PH	36
-----------	---	----

### **Capitulo 3**

Tabla 3.1	Radiación de energía ultravioleta necesaria para Destruir hasta en un 99% de los microorganismos	
-----------	--	--

## INTRODUCCIÓN

Las aguas utilizadas en los procesos productivos retornan contaminadas a los cursos de agua; en la mayoría de los casos se deteriora su calidad para usos posteriores, inclusive la irrigación. Dependiendo del grado de contaminación, el agua residual puede ser nociva para la vida, causando por ejemplo, la mortandad de peces. También puede producirse una liberación de compuestos volátiles, que provocan mal olor y sabor acentuado, y que podrían traer problemas en una nueva operación de purificación y tratamiento del agua .

En los países<sup>[1]</sup> en desarrollo, se estima que el 80% de las enfermedades y más de un tercio de las muertes están asociados a la utilización y consumo de aguas contaminadas . La hepatitis infecciosa, el cólera, la disentería y la fiebre tifoidea son ejemplos de enfermedades de transmisión hídrica, que representan un serio problema de salud pública.

Las enfermedades infecciosas son transmitidas primariamente por la contaminación de las fuentes de agua con deposiciones de animales, las cuales pueden ser agentes muy activos para el transporte de enfermedades. El uso de tales aguas para beber o cocinar, el contacto con la misma durante baños, o la inhalación de pequeñas gotitas (aerosoles) pueden resultar en infecciones.

La desinfección de aguas de abastecimiento se define como el proceso integrante de una estación de tratamiento de agua que tiene como

objetivo la inactivación de microorganismos presentes en el medio, minimizando la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades, y el manejo del agua tratada .

Se reconoce que el agua es uno de los principales vehículos transportadores de microorganismos causante de enfermedades provenientes del aparato digestivo del hombre y de otros animales. Las coliformes fecales son un grupo grande de microorganismos, habitantes usuales de los intestinos de los animales superiores. Estos microorganismos son de fácil identificación comparados con los microorganismos patógenos, que normalmente se encuentran en mucho menor número y cuya identificación es laboriosa . La presencia de coliformes en una muestra no siempre indica que el agua está contaminada con microorganismos patógenos, sino que, en términos estadísticos, su concentración puede y debe servir como parámetro para alertar sobre la existencia de contaminación fecal y de microorganismos patógenos. Los microorganismos patógenos están relacionados con enfermedades específicas de transmisión hídrica. La fiebre tifoidea, las fiebres paratifoideas, la disentería bacteriana y el cólera son causadas por bacterias, la amibiosis o disentería amebiana por protozoarios, la esquistosomosis por gusanos (helminths) y larvas, en tanto que ciertos virus originan la hepatitis infecciosa y la poliomielitis .



## **OBJETIVO**

El objetivo, de este trabajo es dar a conocer los diferentes métodos de desinfección del agua, métodos tradicionales y métodos avanzados ,para obtener una mejor calidad del agua para el consumo humano.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. EL AGUA

Los riesgos relacionados con el consumo de un agua no potable son múltiples y tenerlos en cuenta forma parte de la responsabilidad de las autoridades elegidas para ello. Tradicionalmente, se hace una distinción entre los riesgos a corto plazo y los riesgos a medio o largo plazo.

#### **Riesgos a corto plazo<sup>[2]</sup>**

Beber un solo vaso de agua de dudosa calidad puede suponer un riesgo. Normalmente se trata de un riesgo microbiológico a corto plazo. La protección contra dicho riesgo debe garantizarse 24 horas al día, 365 días al año.

#### **Riesgos a medio y largo plazo**

Los riesgos a medio y largo plazo están relacionados con el consumo regular y continuo durante semanas, meses, e incluso años de un agua contaminada químicamente. Estos riesgos se deben tener en cuenta naturalmente, pero en ningún caso en detrimento de la protección contra el riesgo a corto plazo.

Para proporcionar un abastecimiento continuo de agua segura para consumo humano, deben seguirse algunas normas simples que permitan garantizar su buena calidad microbiológica. Entre ellas, la O.M.S. considera prioritarias las siguientes:

- Utilizar un recurso hídrico de la mejor calidad posible,
- Emplear todos los medios disponibles para proteger las captaciones,
- Garantizar en forma permanente la desinfección del agua.

La protección de la población frente a enfermedades de origen hídrico depende de la aplicación y del cumplimiento de dichas normas.



*Fig 1. 1: El agua debe ser de la mejor calidad posible para el consumo humano*

### **Las enfermedades de origen hídrico**

Los riesgos epidemiológicos relacionados con el consumo de agua contaminada por gérmenes muy virulentos, como son los del cólera, las fiebres tifoideas o la hepatitis vírica; así como la existencia de otras enfermedades de origen hídrico resultantes de la contaminación microbiológica de las aguas de consumo humano causan un gran impacto en la población. Por ejemplo, en 1991 surgió una epidemia de cólera que se extendió a 21 países, ocasionando 1'207,000 casos hasta 1997. En la tabla 1.1 presentamos las principales enfermedades de origen hídrico.

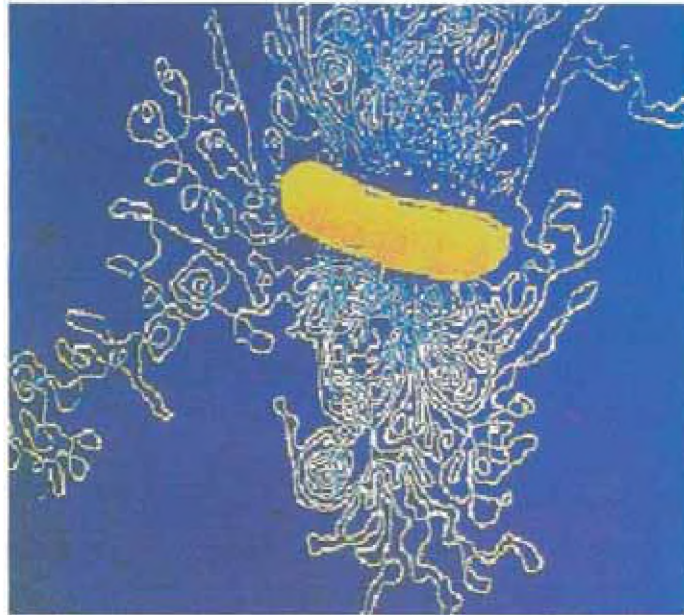
## **1.2. EFECTOS EN LA SALUD**

Una gran cantidad de gérmenes pueden ser la causa de epidemias de origen hídrico: históricamente, las Salmonellas y las Shigellas fueron las que se identificaron primero. Hoy en día, otros microorganismos como los Rotavirus,

los Campylobacter parásitos tales como Giardia se identifican también como responsables de las mismas. La mayoría de los trastornos ocasionados por estos gérmenes son de una gravedad moderada presentándose a menudo en forma de gastroenteritis( Figura 1.2) asociada con diarreas, dolores abdominales o vómitos. Dichos trastornos son por lo general de corta duración. Pueden afectar algunas personas o a comunidades enteras, dependiendo de la calidad o del tipo de germen presente en el agua. Junto a estas epidemias "benignas", aparecen ocasionalmente enfermedades de origen hídrico mucho más graves.

El tipo de microorganismo, su modo de transmisión así como el perfil de las personas contaminadas determinan la gravedad de la infección: los niños de corta edad, las personas mayores, los inmunodeficientes o los enfermos representan los grupos de población más susceptibles a este riesgo. Los brotes de epidemias en las comunidades con un gran número de población susceptible (guarderías, escuelas, hospitales, etc.) cumplen a menudo el rol de centinela y de alerta para las autoridades.

La infección puede ocurrir como resultado de beber agua contaminada, o a través de sus diversos usos cotidianos: preparación de comidas, aseo o incluso inhalación. La contaminación microbiológica del agua ocurre por lo general a través de heces de origen humano o animal. La presencia, en las cercanías de una captación, de aguas residuales o excretas de personas enfermas o que son portadores sanos de patógenos, puede ser la causa de la contaminación del agua.



*FIG 1. 2 Gastroenteritis agudas y diarreas Escherichia coli enterotoxinógena*

*TABLA 1. 1 Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables*

<b>Enfermedades</b>	<b>Agentes</b>
<b>Origen bacteriano</b> Fiebres tifoideas y paratifoideas  Disenteria bacilar Cólera Gastroenteritis agudas y diarreas	Salmonella typhi <sup>o</sup> Salmonella paratyphi A y B Shigella sp. Vibrio cholerae Escherichia coli enterotoxinógena Campylobacter Yersinia enterocolitica Salmonella sp. Shigella
<b>Origen vírico</b> Hepatitis A y E Poliomelitis Gastroenteritis agudas y diarreas	Virus hepatitis A y E Virus de la polio Virus de Norwak Rotavirus Enterovirus Adenovirus, etc.
<b>Origen parasitario</b> Disenteria amebiana Gastroenteritis	Entamoeba histolytica Giardia lamblia Cryptosporidium

### 1.3. TIPOS DE MICROORGANISMOS<sup>[3,4]</sup>

los microorganismos patógenos en el agua se pueden dividir en tres categorías: bacteria, virus y protozoos parásitos. Las bacterias y virus se pueden encontrar tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales, mientras los protozoos son comunes de las aguas superficiales.

#### **Bacterias<sup>[3]</sup>**

Bacterias son organismos de una sola célula. Su forma puede ser esférica, espiral, etc. Pueden existir como organismos individuales, formando cadenas, grupos o pares. Las bacterias son las formas de vida mas abundantes en la tierra. Tienen una longitud entre 0,4 y 14  $\mu\text{m}$  y sobre 0,2 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho. Consecuentemente solo se pueden ver mediante microscopio. Las bacterias se reproducen mediante la replicación del ADN, y división en dos células independientes. En circunstancias normales este proceso dura entre 15 y 30 minutos.

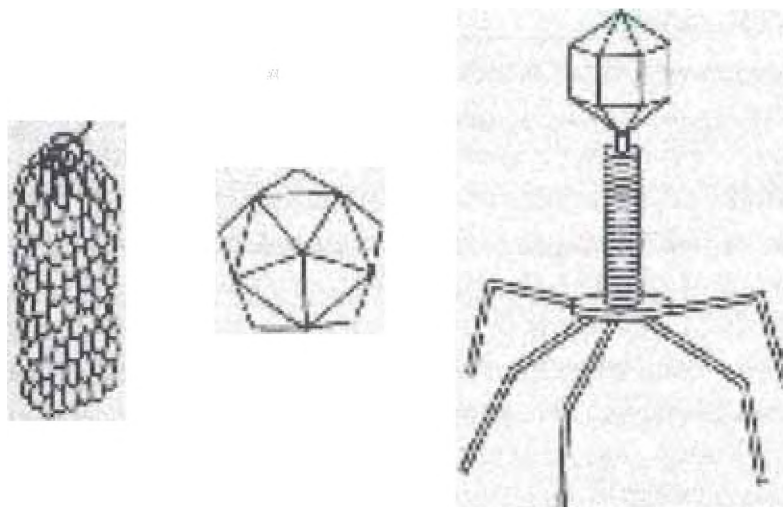
Algunas bacterias pueden formar esporas. Estas esporas se caracterizan por presentar una capa protectora resistente al calor y que protege la bacteria de la falta de humedad y comida. Las bacterias tienen un papel funcional ecológico específico. Por ejemplo, algunas se encargan de la degradación de la materia orgánica, otras bacterias forman parte del metabolismo del hombre.

#### **Virus<sup>[3]</sup>**

Virus son organismos que pueden causar infecciones y que solo se reproducen en células huésped. Los virus fuera de células huésped están en forma inactiva. Los virus se caracterizan por presentar una capa protectora. Su forma puede ser espiral, esférica o como células pequeñas, de tamaño entre 0.02 y 0.009  $\mu\text{m}$ , como se muestra en la Figura 1.3 , Al tener un tamaño menor que las bacterias, pueden pasar filtros que permiten la retención de bacterias.

Al contrario que las bacterias y protozoos parásitos, los virus contienen un solo tipo de ácido nucleico (ARN o ADN). No se pueden reproducir por sí solas, sino que necesitan el metabolismo de la célula huésped para asegurar que el ADN se copia en la célula huésped, para su reproducción.

Al contrario que las bacterias, los virus no están presentes en el ser humano de manera natural. Cuando las personas quedan afectadas por un virus, estos generalmente se eliminan del cuerpo humano mediante secreciones.



*Fig. 1. 3 : Tres tipos diferentes de virus*

### **Parásitos protozoos**

Parásitos protozoos son organismos unicelulares. Estos se caracterizan por presentar un metabolismo complejo. Se alimentan a base de nutrientes sólidos, algas y bacterias presentes en organismos multicelulares, como los humanos y animales. Se encuentran frecuentemente en forma de quistes o huevos. Por ejemplo, los huevos de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* son comunes en aguas afectadas por contaminación fecal. En forma de quistes los patógenos son resistentes a la desinfección por cloro. Los parásitos protozoos

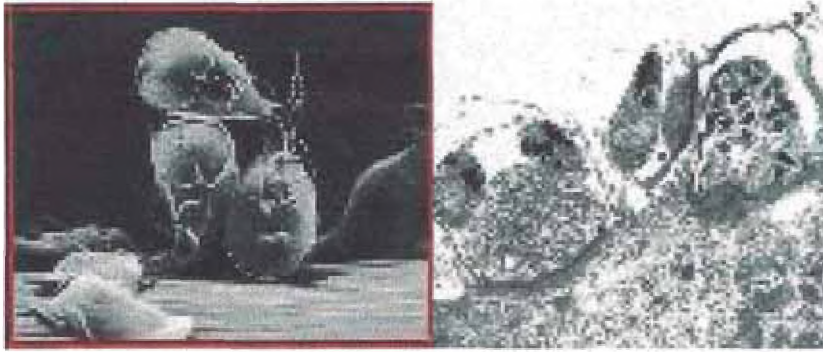
se eliminan mediante la filtración y aplicación de dióxido de cloro. Los problemas de las infecciones dependen del tipo de patógeno, el modo como se transfiere, dosis o concentración de patógenos, persistencia de los microorganismos y la resistencia de la persona infectada. ,en la Fig. 1. 4, 1. 5,1. 6,1. 7, tenemos las diferentes tipos de bacterias.

La dosis de infección significa el numero de microorganismos que entra en el cuerpo antes de que se produzca la infección o enfermedad. Esta dosis es muy baja para los virus y protozoos parásitos. La persistencia de los microorganismos depende del tiempo viable de los microorganismo cuando no se encuentra en el huésped humano. Por ejemplo las bacterias son generalmente menos persistentes mientras los quistes protozoitos son los mas persistentes. Los jóvenes, personas mayores y enfermos son los menos resistentes a las enfermedades y por lo tanto son mas frágiles. Cuando una persona es infectada los patógenos se multiplican en el huésped, y esto supone un riesgo de infección o enfermedad. No todas las personas infectadas por patógenos enferman. Las personas que enferman pueden contagiar y extender la enfermedad mediante las secreciones. En la tabla 1. 2 se muestra las principales enfermedades originadas por los microorganismos.



*FIG. 1. 4 : E. Coli bacteria*





*FIG.1 5: Esporas de Cryptosporidium    FIG.1. 6: Quistes de Giardia*



*FIG.1. 7: Legionela bacteria*

**TABLA 1. 2 Principales enfermedades <sup>[4]</sup>**

<b>Microorganismo</b>	<b>Enfermedad/infección</b>	<b>Síntomas</b>
<i>Aeromonas</i>	Enteritis	Diarrea muy líquida, con sangre y moco
<i>Campylobacter jejuni</i>	Campilobacteriosis	Gripe, diarres, dolor de cabeza y estómago, fiebre, calambres y náuseas
<i>Escherichia coli</i>	Infecciones del tracto urinario, meningitis neonatal, enfermedades intestinales	Diarrea acuosa, dolores de cabeza, fiebre, uremia homilética, daños hepáticos
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Plesiomonas-infección	Náuseas, dolores de estómago y diarrea acuosa, a veces fiebre, dolores de cabeza y vómitos
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre
<i>Salmonella sp.</i>	Salmonelosis	Mareos, calambres intestinales, vómitos, diarrea y a veces fiebre leve
<i>Streptococcus</i>	Enfermedad (gastro) intestinal	Dolores de estómago, diarrea y fiebre, a veces vómitos
<i>Vibrio El Tor (agua dulce)</i>	Cólera (forma leve)	Fuerte diarrea
<i>Amoeba</i>	Disenteria ameboide	Fuerte diarrea, dolor de cabeza, dolor abdominal, escalofríos, fiebre; si no se trata puede causar abscesos en el hígado, perforación intestinal y muerte
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Criptosporidiosis	Sensación de mareo, diarrea acuosa, vómitos, falta de apetito
<i>Giardia</i>	Giardiasis	Diarrea, calambres abdominales, flatulencia, eruptos, fatiga
<i>Toxoplasm gondii</i>	<u>Toxoplasmosis</u>	Gripe, inflamación de las glándulas linfáticas En mujeres embarazadas aborto e infecciones cerebrales

## **Características<sup>[2]</sup>**

Los microorganismos patógenos poseen diversas propiedades que les distinguen de los contaminantes químicos:

No están en solución, sino que se presentan en forma de partículas. Pueden estar en suspensión libre o aglomerados en las materias suspendidas en el agua.

El riesgo de contraer una infección no depende únicamente de la concentración media de microorganismos en el agua. La probabilidad de que un germen patógeno consiga implantarse en el organismo y provoque una infección depende de su grado de invasión, de su dosis mínima infectante así como del nivel inmunológico del individuo.

Si se produce infección, los gérmenes patógenos se multiplican en el organismo huésped. Algunas bacterias patógenas pueden incluso multiplicarse en los alimentos y las bebidas, lo que perpetúa aumenta los riesgos de infección. Ese no es caso de los contaminantes químicos.

Contrariamente a los efectos provocados por numerosas sustancias químicas, la relación dosis/efecto de los microorganismos patógenos no es acumulativa. Una única exposición a un microorganismo patógeno puede bastar para provocar una enfermedad.

Debido a estas propiedades, no se puede establecer un límite inferior tolerable para los microorganismos patógenos.

**El agua destinada al consumo humano, a la preparación de los alimentos o a la higiene personal no debe contener ningún microorganismo patógeno para el hombre**

### **Vigilancia de las aguas de consumo humano**

Resulta teórica, técnica y financieramente imposible investigar en el agua de consumo humano todos los microorganismos patógenos susceptibles de provocar infecciones de origen hídrico. En efecto, no se concibe el estudio de todos los agentes patógenos debido a:

La dificultad de que todos los laboratorios responsables por el monitoreo de la calidad de las aguas de consumo humano identifiquen sistemáticamente estos microorganismos. En la fig. 1. 8 tenemos el cultivo de gérmenes.

La imposibilidad de aislar algunos de ellos con las técnicas analíticas actuales

La presencia, por lo general irregular, de microorganismos patógenos en el agua de consumo humano. Debido a esto, para garantizar que el agua es totalmente segura, la detección debería hacerse en forma continua, pero en la actualidad no existen técnicas disponibles para efectuar esto.

El largo tiempo requerido para obtener los resultados de los análisis, aún en el caso que existieran técnicas confiables, no permitiría un control eficaz de la calidad del agua, y por tanto una protección satisfactoria del consumidor.

Los higienistas han tenido que recurrir, por consiguiente, a métodos indirectos para evaluar la contaminación de las aguas, tales como: **indicadores de contaminación fecal ó bacterias "testigo"**.

La gran mayoría de los microorganismos patógenos transmitidos por el agua son de origen fecal. Consecuentemente, su monitoreo se basará en demostrar

la presencia de los microorganismos más representativos indicadores de esa contaminación.

En adición, los indicadores deben tener algunas características particulares: ser poco o nada patógenos, fáciles y rápidos de detectar a un costo moderado. Además, deberán presentar una resistencia a los tratamientos físico-químicos (sedimentación, filtración, desinfección), similar a la de los microorganismos patógenos. Esta característica en particular, permitirá evaluar la eficacia de los diversos tratamientos del agua para remover estos microorganismos.

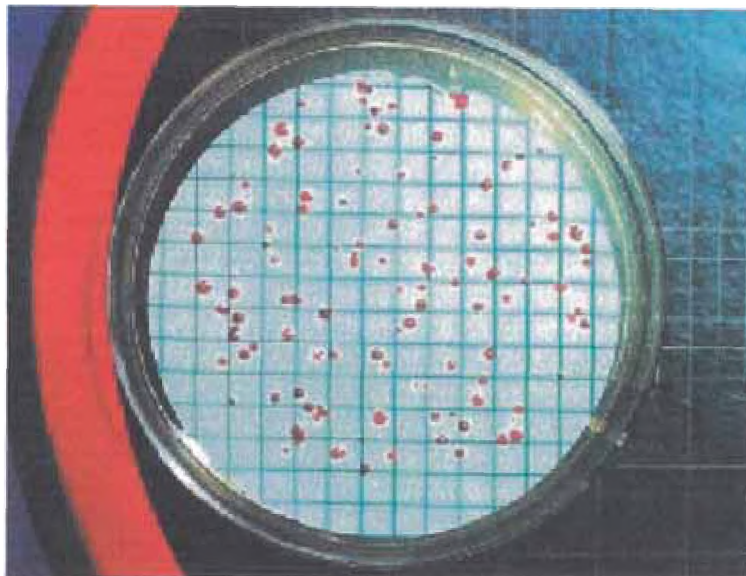
Hoy en día, las bacterias coliformes termotolerantes, menudo llamadas erróneamente coliformes fecales, coli, constituyen el indicador de referencia comúnmente aceptado por todos. Otros grupos de microorganismos, como los coliformes totales y los clostridium sulfitorreductores, se utilizan igualmente como indicadores de la eficacia del tratamiento.

Si se detectan coliformes fecales puede afirmarse que el agua ha sido contaminada y por tanto representa un riesgo potencial. A iniciativa de las autoridades sanitarias se podrán realizar estudios adicionales que requieran la aplicación de técnicas analíticas especiales.

Si no se encuentran microorganismos indicadores, puede asumirse que el agua cumple con las normas. Sin embargo, sigue existiendo un ligero riesgo de que el agua pueda estar contaminada por microorganismos de origen fecal o de otro origen, en particular por virus y protozoos. En opinión de expertos de la O.M.S., este riesgo es muy remoto.

**Un agua que no contiene microorganismos indicadores se considerará como un agua microbiológicamente apta para beber**

La lucha contra las enfermedades infecciosas de origen hídrico ha constituido a lo largo de los últimos decenios (y aún hoy constituye en gran número de países) un objetivo primordial de salud pública que requiere diversas soluciones técnicas. Entre éstas, la desinfección del agua sigue siendo el método más eficaz y extendido.



*Fig 1. 8 cultivo de gérmenes en laboratorio*

#### **1.4 ASPECTOS REGLAMENTARIOS Y NORMATIVOS**

Por lo general, las autoridades locales no tienen a su cargo el fijar las normas de calidad. Sin embargo, es muy importante que entiendan los aspectos técnicos que los Gobiernos centrales consideran para la adopción de normas y que sepan interpretar los resultados de un análisis de laboratorio. Se tendrán en cuenta varios aspectos:

- Las normas de calidad microbiológica que permitan garantizar que el agua no está contaminada,
- Las normas relativas a la concentración de desinfectante,

- Las normas relativas a los productos secundarios de la desinfección.

### **Normas Microbiológicas**

El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos patógenos. Para asegurarse de que el agua está exenta de contaminación fecal y de que se ha realizado una buena desinfección, se utilizan "microorganismos indicadores", cuyos valores guía se han definido en las recomendaciones de la O.M.S. publicadas en 1994, en la tabla 1.3

*TABLA 1.3 Normas microbiológicas O.M.S*

<b>Normas microbiológicas de las aguas de consumo - O.M.S. 1994</b>	
<i>Coliformes termo tolerantes</i>	<i>0/100 ml</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>0/100 ml*</i>

*\* En el 95% de las muestras tomadas en distribución tras tratamiento durante un período de 12 meses. Estadística válida para las grandes redes.*

### **Normas Relativas a La Concentración de Desinfectante**

El cloro da un sabor al agua. Dependiendo de los países y los hábitos de los consumidores, la "concentración de cloro residual tolerada" puede tener gran variación. En Europa, la mayoría de los países limitan este contenido a un nivel muy bajo, del orden del 0,1mg/l.

En los Estados Unidos y en América en general, donde el sabor a cloro equivale a la garantía de un agua de calidad, dicho valor es de 1mg/l.

La O.M.S. considera que una concentración de 0.5mg/l de cloro libre residual en el agua, después de un tiempo de contacto de 30 minutos garantiza una desinfección satisfactoria . Por otra parte, la O.M.S. precisa que no se ha observado ningún efecto nefasto para la salud en el caso de concentraciones de cloro libre que lleguen hasta 5mg/l. Esta concentración se ha considerado como valor guía, pero en ningún caso un valor a alcanzar.

### **Normas Relativas a Los Subproductos de Desinfección**

Los subproductos de la desinfección están representados generalmente en los reglamentos por los trihalometanos, THM de forma abreviada.

En 1980, la Unión Europea no había previsto una reglamentación acerca de dichos compuestos. Simplemente se precisaba que el nivel de THM debía ser lo más bajo posible. Algunos países introdujeron, sin embargo, en sus legislaciones normas para estas sustancias. Los valores considerados varían de 25 a 100 (g/l para los THM totales)

En 1994 se publicaron los niveles guía de la O.M.S. relativos a estas sustancias, que se presentan en el anexo. La O.M.S. precisa que el cumplimiento de dichos niveles guía no debe obtenerse en ningún caso en detrimento de las normas microbiológicas.

## **1.5 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE**

Regulaciones concernientes a la calidad del agua para consumo humano  
**Organización Mundial de la Salud<sup>151</sup>**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece unas directrices para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el



establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Las últimas directrices publicadas por la OMS son las acordadas en Génova, 1993 (Estándares europeos de la calidad del agua en anexo 1 )

### **La Unión Europea<sup>[5]</sup>**

La Unión Europea elaboró la Directiva 98/83/EC acerca de la calidad del agua para el consumo humano, adoptada por el Consejo el 3 de Noviembre de 1998. Esta fue elaborada mediante la revisión de los valores de los parámetros de la antigua Directiva del Agua Potable de 1980, y haciéndolos más estrictos en los casos en que fue necesario de acuerdo con los últimos conocimientos científicos disponibles (directrices de la OMS y del Comité Científico de Toxicología y Ecotoxicología). Esta nueva Directiva proporciona una base sólida tanto para los consumidores en la U.E como para los proveedores de agua potable (ver Estándares de la calidad del agua para el consumo humano (anexo 1 )

## **1.6 MEDIOS DE DESINFECCION MAS COMUNES**

La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos en la planta de tratamiento de agua potable, para prevenir que esta sea dañina para nuestra salud. Muchas veces, tratándose de agua de manantiales naturales o de pozo, la desinfección es el único tratamiento que se le da al agua para obtener agua potable. La desinfección puede hacerse por medios químicos o físicos;

### **Medios Químicos**

Los compuestos químicos más utilizados para la desinfección del agua son, Cloro ( $\text{Cl}_2$ ), Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) , Hipoclorito de sodio ( $\text{ClO}^-$ ) ,Ozono ( $\text{O}_3$ ) ,Halógenos: Bromo ( $\text{Br}_2$ ), Yodo ( $\text{I}_2$ ) ,Cloruro de bromo ( $\text{BrCl}$ ) ,Metales: cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), plata ( $\text{Ag}^+$ ) ,Permanganato ( $\text{KMnO}_4$ ) ,Sales de amonio ,Peróxido de hidrógeno

### **Medios Físicos, Electro - Físicos y/o Físico – Químicos**

Los procesos físicos más utilizados para la desinfección del agua son, Luz ultravioleta ,fotocatálisis ,radiación electrónica ,rayos gamma ,sonido,calor

Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando la recontaminación del agua.

## **CAPÍTULO 2:**

### **2.1. MÉTODOS CLÁSICOS PARA LA DESINFECCION DEL AGUA**

El límite máximo tolerable de población microbiana en sistemas se determina en pruebas de laboratorio. Cuando se conocen estos datos en muchos casos el número de bacterias y de otros microorganismos necesita ser reducido. Esto se puede lograr mediante la adición de biácidas; productos químicos que son tóxicos para los microorganismos. Las biácidas son generalmente dosificadas a un sistema para reducir eficaz y rápidamente la población de los microorganismos, los cuales no pueden recuperarse fácilmente del descenso de población. Hay varios tipos de biocidas, algunos de los cuales tienen una amplia gama de efectos sobre muchas y diversas clases de bacterias.

#### **Características deseables del desinfectante de agua<sup>[6]</sup>**

Para que sea idóneo, un desinfectante de agua para consumo humano, debe satisfacer ciertos criterios generales entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Debe poder destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y números de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a desinfectar.
- El análisis para determinar la concentración de desinfectante en el agua debe ser exacto, sencillo, rápido y apropiado para hacerlo tanto en el terreno como en el laboratorio.

- El desinfectante debe ser fiable para usarse dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.
- Debe poder mantenerse un a concentración residual adecuada en el sistema de distribución del agua para evitar la recontaminación o que los microorganismos se reduzcan. Debe ser posible no introducir ni producir sustancias tóxicas, o en caso contrario éstas deben mantenerse bajo los valores guías, o las normas, ni cambiar en ninguna otra forma las características del agua de modo que esta no sea apta para el consumo humano.

El desinfectante debe ser seguro y fácil de manejar y aplica en las situaciones en que se prevé su uso.

Varios factores influyen en la eficacia de un desinfectante de agua. Por lo tanto, en la selección de un sistema de desinfección es preciso comprender bien el efecto de estos para determinar sus posibles repercusiones en la desinfección y, de ser el caso, controlarlos para aumentar la eficiencia del proceso. A continuación se tratan los más importantes.

## **2.2 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS CLÁSICOS**

### **2.2.1 DESINFECCIÓN CON CLORO**

El cloro es posiblemente el biocida industrial más usado hoy en día. Se utilizó durante mucho tiempo para la desinfección de los abastecimientos de agua domésticos y para el retiro del sabor y los olores del agua. La cantidad de cloro que necesita ser agregada a un sistema de agua viene determinada por varios factores, a saber: demanda de cloro, tiempo de contacto, pH y temperatura del agua, volumen de agua y cantidad de cloro que se pierde con la aireación. Cuando el cloro gaseoso se incorpora a un abastecimiento de

agua se hidroliza para formar ácido hipocloroso y clorhídrico. Es éste último el que determina la actividad biocida.

Este proceso ocurre según la reacción siguiente:



El ácido hipocloroso, es el responsable de las reacciones de oxidación del citoplasma de los microorganismos, después de la difusión a través de las paredes de la célula. El cloro entorpece la producción de ATP (Adenosín trifosfato), un compuesto esencial para la respiración de los microorganismos. Las bacterias que están presentes en el agua morirán como consecuencia de los problemas de respiración experimentados, causados por la actividad del cloro.

La cantidad de cloro que necesita ser agregada para el control del crecimiento bacteriano viene determinada por el pH. Cuanto más alto es el pH, más cloro es necesario para matar a las bacterias indeseadas en un sistema de agua. Cuando los valores de pH están dentro de una gama de 8 a 9, se deben agregar 0,4 ppm de cloro. Cuando los valores de pH están dentro de una gama de 9 a 10, se deben agregar 0,8 ppm de cloro.

El cloro<sup>[7]</sup> disponible para la desinfección está presente en dos formas químicas en un agua, como ácido hipocloroso (HOCl) y hipoclorito (OCl<sup>-</sup>), presentando el ácido hipocloroso 100 veces mayor capacidad desinfectante que el ión hipoclorito. La presencia en mayor o menor proporción de una u otra especie química del cloro desinfectante en el agua depende del pH. ( Ver Fig.2. 1) No existe kit que diferencie la forma mas activa de ácido hipocloroso en el agua de la forma iónica OCl<sup>-</sup>, por lo cual se hace necesario controlar adicionalmente el pH de forma paralela al cloro, de tal forma de asegurar una adecuada desinfección.

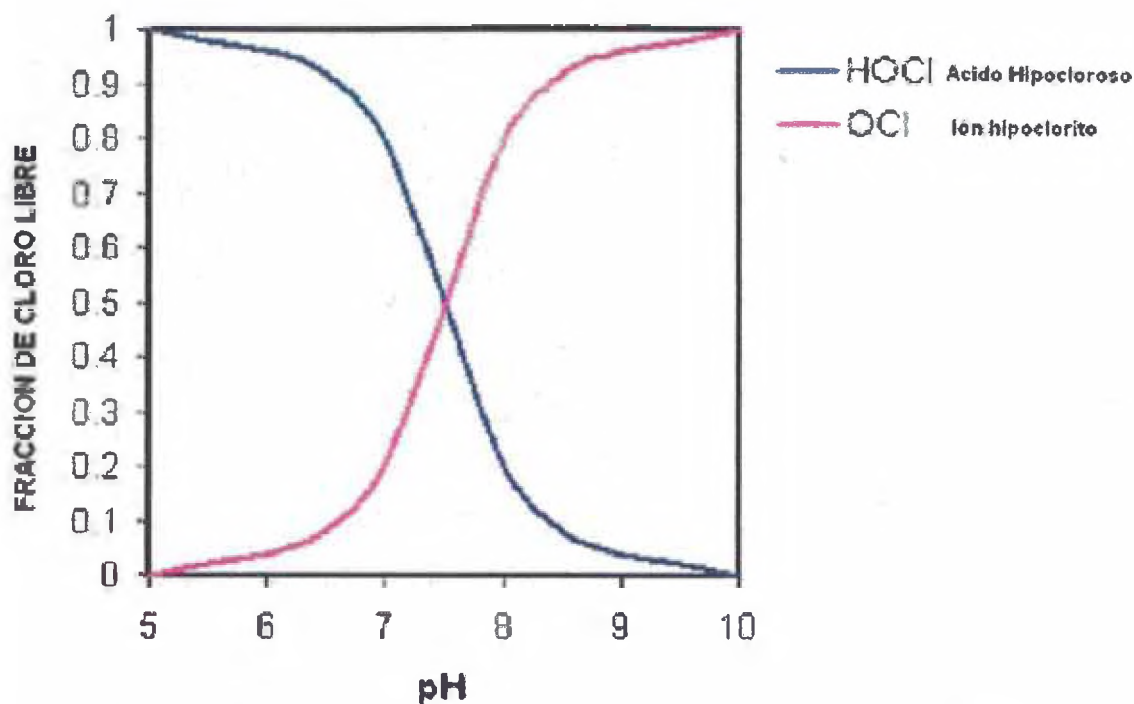


Fig. 2. 1 Formas químicas del cloro libre en función del pH<sup>[7]</sup>

### capacidad bactericida del cloro<sup>[2]</sup>

Desde 1904, en los Estados Unidos de Norteamérica, el cloro ha sido utilizado continuamente para la desinfección del agua potable. Este ampliamente comprobado que la aplicación del cloro en los procesos de desinfección, ha tenido un efecto positivo en la salud humana. Enfermedades de origen hídrico como la tifoidea, el cólera, la disentería, amebiasis, salmonellosis, shigellosis y hepatitis A, han decrecido en los Estados Unidos durante los últimos 80 años, por efectos de la cloración.

Pese a haberse efectuado diversas investigaciones sobre la cloración del agua, aun no se han resuelto todas las dudas respecto a sus riesgos. Existen enigmas en las áreas más clásicas de la investigación sobre cloración, como por ejemplo su eficacia en la disminución de ciertos microorganismos. Recién en los últimos años se ha obtenido algunos datos sobre la acción del cloro en

la eliminación de microorganismos resistentes, causantes de enfermedades de origen hídrico, como el virus de la hepatitis A y los quistes de la *Giardia lamblia*. La cloración es una alternativa para la desinfección del agua ampliamente difundida en los países en desarrollo, dado que constituye la tecnología mas conocida por su eficacia, costos de su aplicación y por estar histórica y epidemiológicamente comprobada.

Por estas razones, en sus guías de calidad de agua , la OMS recomienda que, para tener la garantía sanitaria de la calidad del agua para consumo y para asegurar su efecto ante cualquier contaminación posterior, debe existir un promedio de 0.3 mg/l de cloro residual activo y una turbiedad menor de 1 UNT (unidad nefelométrica de turbiedad).

### **2.2.2 DESINFECCION CON DIÓXIDO DE CLORO<sup>[8]</sup>**

El dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) es un desinfectante cuya capacidad biocida sobrepasa a la del cloro y sus derivados. Debido a sus cualidades oxidantes selectivas, su aplicación es una alternativa a ser considerada donde además de la desinfección se requiere mejorar la calidad organoléptica del agua. Tiene un gran efecto en el control del sabor y el olor, así como para destruir sustancias orgánicas que proporcionan color o que son precursoras de trihalometanos (THM). Por ello, se aplica especialmente cuando las aguas crudas contienen altas concentraciones de precursores, que con la cloración tradicional darían lugar a la formación de subproductos de la desinfección (SPD).

A pesar de ello, su uso como desinfectante en plantas de tratamiento se ve limitado a causa de su complejidad y sensibilidad en la producción y a su relativo costo elevado.

El dióxido de cloro no se vende como un producto listo para su uso, por lo que debe generarse *in situ*. Además, solo se utiliza como desinfectante primario y

su producción y manejo entrañan complejidad y riesgos. Por ello, no se recomienda para comunidades pequeñas con poca capacidad técnica; de allí su escasa popularidad en los países en desarrollo y su limitada aplicación en sistemas de mediano a gran porte en los países desarrollados. Posiblemente, para el medio rural de los países en desarrollo eso lo mantendrá en una prioridad baja frente a otros desinfectantes más “amistosos”, como el cloro, la radiación ultravioleta y la FLA y solo será comparable en popularidad con la también excelente pero sensible y exigente ozonización. Una aclaración es, sin embargo, pertinente. Se está desarrollando mucha investigación sobre el dióxido de cloro y en los últimos años han aparecido nuevas tecnologías y formas de producción que hacen que esta técnica sea una de las más activas e innovadoras junto con los métodos sinérgicos, que se detallan más adelante en el manual. Es probable que la ciencia aporte en cualquier momento un nuevo método que disminuya los inconvenientes que se presentan hoy en día y que quede como única oferta la sumatoria de todas sus cualidades y ventajas.

### **Propiedades del dióxido de cloro como desinfectante<sup>[8]</sup>**

El dióxido de cloro es un gas de color verde amarillento, estable y sumamente soluble en agua hasta alcanzar concentraciones de 2%. Una de las propiedades más interesantes del dióxido de cloro es su eficacia biocida en un amplio rango de pH que va de 3 a 10 (mejor de 4 a 9). Además de sus propiedades desinfectantes, el dióxido de cloro mejora la calidad del agua potable, es decir, neutraliza olores, remueve el color y oxida el hierro y el manganeso.

El dióxido de cloro es sensible a la luz ultravioleta. Aunque han aparecido nuevas metodologías (SCD “estabilizadas”) que pueden cambiar la actual situación, hoy el  $\text{ClO}_2$  no puede comprimirse ni distribuirse en cilindros como el cloro gaseoso ni puede transportarse debido a su inestabilidad. El producto, por lo tanto, debe producirse *in situ* mediante el uso de generadores



especiales. Comúnmente se genera mediante dos mecanismos: la reacción de clorito de sodio con cloro gaseoso (sistema de dos compuestos químicos) o mediante la reacción de clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido sulfúrico (sistema de tres compuestos químicos).



Estrictamente como desinfectante, el  $\text{ClO}_2$  presenta las siguientes ventajas:

- Su potencial bactericida es relativamente independiente del pH entre 4 y 10.
- Es mejor que el cloro para el tratamiento de esporas.
- Requiere poco tiempo de contacto.
- Tiene buena solubilidad.
- No hay corrosión en altas concentraciones, lo que reduce los costos de mantenimiento
- No reacciona con amoníaco o sales de amonio.
- Mejora la coagulación.
- Remueve hierro y manganeso mejor que el cloro.

Las propiedades residuales del dióxido de cloro son limitadas, por tal motivo, suele emplearse el cloro como desinfectante secundario para asegurar protección adicional en el sistema de distribución.

## Mecanismos de desinfección del dióxido de cloro<sup>[8]</sup>

El dióxido de cloro existe en el agua como ClO<sub>2</sub> (poca o ninguna disociación) y, por lo tanto, puede pasar a través de las membranas celulares de las bacterias y destruirlas. El efecto que tiene sobre los virus incluye su adsorción y penetración en la capa proteica de la cápside viral y su reacción con el RNA del virus. Como resultado, el ClO<sub>2</sub> daña la capacidad genética del virus.

El dióxido de cloro tiene menor efecto microbicida que el ozono, pero es un desinfectante más potente que el cloro. Una investigación reciente en los Estados Unidos y Canadá demostró que el dióxido de cloro destruye enterovirus, E. coli y amebas y es efectivo contra los quistes de Cryptosporidium.. La tabla 2. 1 muestra de manera comparativa la eficacia biocida, la estabilidad y el efecto del pH del dióxido de cloro frente a tres desinfectantes comunes.

*TABLA 2. 1 Eficacia biocida, estabilidad y efecto del pH<sup>[8]</sup>*

Desinfectante	Eficacia biocida	Estabilidad	Efecto del pH en la eficacia
Ozono	Cloraminas	4	Poca influencia
Dióxido de cloro	2	2	Poca influencia
Cloro	3	3	Disminuye considerablemente al aumentar el pH
Cloraminas	4	1	Poca influencia

1 = Más ; 4 = Menos

Este cuadro permite identificar que el ozono, con un potencial de oxidación más fuerte, es el menos estable de los cuatro compuestos. También se ha observado que las cloraminas pueden tener la menor efectividad biocida, pero

presentan un efecto residual más prolongado. El dióxido de cloro reacciona en el agua con compuestos fenólicos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas e iones metálicos. Esta acción oxidante a menudo mejora el gusto, olor y color del agua, además elimina la probabilidad de producción de THM cuando se realiza una adecuada dosificación *in situ* de los elementos constituyentes del dióxido de cloro en el agua.

### **Subproductos de la desinfección con dióxido de cloro<sup>[8]</sup>**

Mientras los desinfectantes que contienen cloro reaccionan con diversas sustancias mediante la oxidación y sustitución electrofílica, el dióxido de cloro solo reacciona mediante la oxidación. Esta es la razón por la cual el uso de dióxido de cloro puede disminuir la formación de THM en el agua tratada. Si eventualmente se producen niveles considerables de THM en las aguas tratadas con dióxido de cloro, esto a menudo se debe a problemas en los generadores de dióxido de cloro, generalmente por exceso en el suministro de cloro, sustancia que participa *per se* en la formación de esos THM.

En muchos casos, los productos de la oxidación con dióxido de cloro no contienen átomos de halógeno y específicamente el dióxido de cloro en presencia de sustancias húmicas no da lugar a niveles significativos de THM. No se ha observado la formación de trihalometanos que contengan bromo al tratar materiales húmicos con dióxido de cloro. Tampoco reacciona con el amoníaco para formar cloraminas. De cualquier modo, no se puede negar la existencia de SPD y los productos de la reacción del dióxido de cloro con material orgánico en el agua incluyen clorofenoles y los ácidos maleicos, fumáricos y oxálicos. Un estudio de los subproductos de la reacción del dióxido de cloro en un tratamiento piloto reveló más de 40 SPD, aunque su toxicidad en la mayor parte es desconocida. Durante la oxidación de la materia orgánica, el dióxido de cloro se reduce al ión clorito. Es precisamente el clorito y también los cloratos los más importantes SPD producidos con el uso de este desinfectante.

La OMS no ha establecido un valor guía para el dióxido de cloro debido a su deterioro rápido a clorito, clorato y cloruro, y porque el valor guía provisional de la OMS para el clorito, 200 mg/litro, es un protector adecuado contra la toxicidad potencial del dióxido de cloro.

### 2.2.3 DESINFECCION CON HIPOCLORITO DE SODIO<sup>[9]</sup>

Hipoclorito de sodio (NaOCl) es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores, desinfección del agua, agricultura, industria química, farmacia.

En la industria textil se utiliza el hipoclorito de sodio como blanqueador. También se puede añadir a las aguas residuales industriales. Esto se hace para la eliminación de olores. El hipoclorito neutraliza el gas de sulfuro de hidrogeno(SH) y amonio(NH<sub>3</sub>). También se puede utilizar para la desintoxicación de baños de cianuro en industrias del metal. El hipoclorito se puede utilizar para la prevención de la formación de las algas crecimiento biológico en torres de enfriamiento. En las aguas de tratamiento, el hipoclorito es utilizado como desinfectante del agua. En las casas, el hipoclorito se usa frecuentemente para la purificación y desinfección de la casa.

#### Hipoclorito de sodio para la desinfección<sup>[9]</sup>

Mediante la adición de hipoclorito de sodio en el agua, se genera ácido hipocloroso (HOCl):





El ácido hipocloroso se divide en ácido hipoclorito y oxígeno. El átomo de oxígeno es un oxidante muy fuerte. El hipoclorito de sodio es efectivo contra las bacterias, virus y hongos. El hipoclorito de sodio desinfecta de la misma manera que lo hace el cloro.

### **Hipoclorito de sodio como desinfectante en la piscina<sup>[9]</sup>**

El hipoclorito de sodio es aplicado en piscinas para la desinfección del agua y oxidación. Tiene la ventaja que los microorganismos pueden crear resistencias contra ellos. El hipoclorito de sodio es también efectivo contra la legionella y el biofilm, donde la legionella se puede multiplicar.

El ácido hipocloroso se produce mediante la reacción de hidróxido de sodio con gas cloro. En el agua, se forma el llamado "cloro activo". Existen varios caminos para el uso de hipoclorito de sodio: Por electrolisis de la sal en el sitio, donde se aplica una solución de sal (NaCl) en agua. Iones Sodio ( $\text{Na}^+$ ) y cloro ( $\text{Cl}^-$ ) son producidos.



Mediante el paso de una solución salina en celdas de electrolisis, donde las reacciones que tienen lugar en los electrodos son las siguientes:





Subsecuentemente, el cloro e hidróxido reaccionan formando hipoclorito:



Las ventajas de los sistemas de electrolisis es que no se requiere el transporte o almacenamiento del hipoclorito de sodio. Cuando el hipoclorito de sodio se almacena por mucho tiempo, se vuelve inactivo. Otra de las ventajas de la producción en el momento es que el cloro baja los niveles de pH y no se requiere otro acido para disminuir el pH. El gas hidrogeno producido es explosivo y por lo tanto se debe ventilar para evitar explosiones.

Este sistema es lento por lo que es recomendable utilizar un buffer extra de acidhipocloroso. El mantenimiento y la compra de los sistemas de electrolisis es mas caro que el hipoclorito de sodio. Cuando se utiliza el hipoclorito de sodio, acético o acido sulfúrico se añaden al agua. Una dosis puede producir gases venenosos.

Si la dosis es demasiado baja, el pH aumenta lo que puede irritar los ojos. Debido al uso de hipoclorito de sodio para la oxidación de contaminantes (orina, sudor, cosméticos) y para la eliminación de microorganismos patogénicos, la concentración requerida de hipoclorito de sodio depende de la concentración de estos contaminantes. Especialmente la cantidad de contaminantes orgánicos determina la concentración requerida. Si se filtra el agua antes de la aplicación del hipoclorito de sodio, se necesitara menos producto.

## **Ventajas y desventajas del hipoclorito de sodio**

### **Ventaja**

El hipoclorito de sodio es un desinfectante que tiene las siguientes ventajas:

- Puede ser fácilmente transportado y almacenado cuando se produce en *in situ* sitio.
- El almacenamiento y transporte del hipoclorito de sodio es seguro.
- El hipoclorito de sodio es tan efectivo como el gas cloro para la desinfección.
- El hipoclorito de sodio produce desinfección residual.

### **Desventajas**

Hipoclorito de sodio es una sustancia peligrosa y corrosiva. Cuando se trabaja con hipoclorito de sodio, se deben tomar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y al medio ambiente. El hipoclorito de sodio no debería entrar en contacto con el aire, porque provoca su desintegración., tanto el hipoclorito de sodio como el cloro no provocan la desactivación de Giardia Lambia o Cryptosporidium.

## **2.2.4 OZONO <sup>[10]</sup>**

El ozono es naturalmente inestable. Puede ser utilizado como agente oxidante de gran alcance, cuando se genera en un reactor. Como un biocida él actúa de la misma manera que el cloro; dificulta la formación del ATP, de modo que la respiración de la célula de los microorganismos se hace difícil. Durante la oxidación con ozono, las bacterias mueren generalmente por pérdida del citoplasma que sostiene la vida.

Mientras que el proceso de la oxidación ocurre, el ozono se divide en oxígeno diatómico y un átomo de oxígeno, que se pierde durante la reacción con los líquidos de la célula de las bacterias:



Algunos de los factores que determinan la cantidad de ozono requerida durante la oxidación son pH, temperatura, compuestos orgánicos y solventes, y productos acumulados de la reacción. El ozono es más respetuoso con el medio ambiente que el cloro, porque no agrega el cloro al sistema del agua. Debido a su descomposición el oxígeno no dañará la vida acuática. El ozono es más respetuoso con el medio ambiente que el cloro, porque no agrega el cloro al sistema del agua. Debido a su descomposición el oxígeno no dañará la vida acuática. Generalmente 0,5 ppm de ozono se agregan a un sistema de agua, sobre base continua o intermitente.

El tratamiento de agua potable con ozono presenta, por tanto, una serie de ventajas respecto al tratamiento con cloro.

En primer lugar, debido al fuerte poder oxidante la calidad de la desinfección con ozono es muy superior a la que se consigue con un tratamiento con cloro. De esta forma, se consiguen eliminar virus, bacterias y microorganismos en general cloro-resistentes. Gracias también a este elevado potencial de oxidación conseguimos precipitar metales pesados que pueden encontrarse en disolución y eliminar compuestos orgánicos, pesticidas, y todo tipo de olores y sabores extraños que el agua pudiera contener. Otra de las importantes ventajas del uso del ozono frente al cloro es la rapidez con la que actúa lo cual nos permite realizar tratamientos muy efectivos en pocos segundos o minutos cuando para realizar un tratamiento de desinfección con cloro es necesario un tiempo de contacto muy superior.



## **Los efectos del ozono en el agua<sup>[11]</sup>**

- Desinfección bacterial e inactivación viral
- Oxidación de inorgánicos como hierro, manganeso, metales pesados ligados orgánicamente, cianuros, sulfuros y nitratos.
- Oxidación de orgánicos como detergentes, pesticidas, herbicidas, fenoles, sabor y olor causados por impurezas.

La acción del ozono en cada uno de estos casos es como sigue:

### **Desinfección e inactivación viral:**

Bacterias y la inactivación viral se relacionan con la concentración del ozono en el agua y su duración de contacto con los microorganismos. Las bacterias son las que más rápidamente son destruidas. Las bacterias E-Coli son destruidas por concentraciones de ozono de un poco más de 0,1 mg/litro y una duración de contacto de 15 segundos a temperaturas de 25 °C y 30 °C. Streptococcus fecalis son destruidos mucho más fácilmente. A concentraciones de ozono de aproximadamente 0,025 mg/litro, se obtiene un 99,9% de inactivación en 20 segundos o menos a ambas temperaturas. Los virus son más resistentes que las bacterias. Estudios pioneros por científicos de Salubridad Pública Francesa en los años 60 han demostrado que el poliovirus tipos I, II y III quedan inactivados por medio de exposición a concentraciones de ozono disuelto de 0,4 mg/litro por un período de contacto de cuatro minutos.

### **-Oxidación de Inorgánicos:**

En el caso del hierro, el manganeso, y de varios compuestos arsénicos, la oxidación ocurre muy rápidamente, dejando compuestos insolubles que se puede quitar fácilmente por medio de un filtro de carbón activado. Iones de sulfuro son oxidados a iones sulfatos, una sustancia inocua.

### **-oxidación de orgánicos:**

El ozono es un agente muy poderoso en el tratamiento de materiales orgánicos. Los orgánicos son naturales (ácidos de humectación y fúmicos) o sintéticos (detergentes, pesticidas) en esencia. Algunos orgánicos reaccionan con ozono muy rápidamente hasta la destrucción, dentro de

minutos o aún segundos (fenol, ácido fórmico), mientras otros reaccionan más lentamente con ozono (ácidos de humectación y fúmicos, varios pesticidas, tricloretoano etc.). En algunos casos, los materiales orgánicos son oxidados solamente parcialmente con ozono. Una ventaja principal de oxidación parcial de materiales orgánicos es que al oxidarse parcialmente, los materiales orgánicos se polarizan mucho más que originalmente, produciendo materiales insolubles complejos que se pueden quitar con filtros de carbón activado.

#### **-Eliminación de turbidez :<sup>[11]</sup>**

La turbidez del agua se elimina por ozonización a través de una combinación de oxidación química y neutralización de carga. Las partículas coloidales que causan turbidez son mantenidas en suspensión por partículas de carga negativas que son neutralizadas por el ozono. El ozono además destruye los materiales coloidales por medio de la oxidación de materias orgánicas.

#### **-Eliminación de olores, colores y sabores:**

La oxidación de la materia orgánica, metales pesados, sulfuros y sustancias extrañas, produce la supresión de sabores y olores extraños que el agua pudiera contener, proporcionando una mejora en la calidad y el aspecto del agua, haciéndola más adecuada para su consumo y disfrute

### **2.2.5 DESINFECCION CON LA IONIZACION COBRE Y PLATA<sup>[12]</sup>**

Los iones cobre y plata aportados en cantidades pequeñas tienen la capacidad de destruir los microorganismos presentes en el agua, destruyendo incluso los protozoos cloro resistentes, permaneciendo éstos iones activos durante meses. Es además un sistema muy efectivo para controlar legionella por el elevado poder de destrucción del biofilm adherido a tuberías y zonas opacas al tratamiento. Ideal para tratamiento

de piscinas, torres de refrigeración y depósitos de agua potable.

Metales pesados como los iones de cobre y plata son conocidos agentes bactericidas ya que actúan sobre la pared bacteriana induciendo la lisis celular y la posterior muerte. Mejora la calidad del agua de su piscina con un alto grado de desinfección y limpieza, elimina la aparición de algas y todo ello sin la adición de ningún producto químico. Suprime o reduce el uso de cloro eliminando todas las molestias y perjuicios a lo que está asociado.

Entre las aplicaciones directas del sistema de ionización cobre plata se encuentran:

- Torres de refrigeración y calderas.
- Agua caliente sanitaria (ACS).
- Depósitos de agua.
- Eliminación de olores en aguas residuales.
- Fuentes decorativas, estanques y lagos.
- Piscinas y spas

En piscinas suprime en un 100% el uso de floculante y antialgas y reduce el uso de cloro evitando el olor y sabor a cloro, los ojos irritados o la piel reseca por el uso de productos químicos. Además reducirá considerablemente el trabajo de mantenimiento.

Combinado con una hidrólisis del agua o un tratamiento con ozono, con el objetivo de tener un efecto oxidante, conseguimos un sistema muy eficaz contra la legionella en piscinas, fuentes y estanques decorativos y torres de refrigeración, calderas y depósitos de agua, evitando el uso del cloro y otros agentes químicos con un sistema mucho más eficaz.

En piscinas mediante nuestro sistema bionet puede combinarse con la cloración salina para obtener una excelente calidad del agua de nuestra

piscina con un mantenimiento mínimo.

### **Acción del cobre y la plata sobre bacterias y virus<sup>[12]</sup>**

El proceso es muy simple. La generación de iones comienza en la unidad electrónica (control), la cual envía corriente de bajo voltaje a los electrodos alojados en la célula porta-electrodos (cámara de iones). El voltaje de la corriente oscila entre 0 y 24 voltios.

Durante el proceso descrito, los iones de cobre y plata, que son grupos de átomos cargados eléctricamente, se mueven de un electrodo a otro, incorporándose el flujo de agua que penetra en la célula porta-electrodos cuando el agua fluye a través de las tuberías de conducción.

Los iones actúan de manera muy parecida a los glóbulos blancos en la corriente sanguínea; atacan y destruyen las bacterias, hongos y algas y después se deshacen de todos los organismos dañinos a través del sistema de filtración y/o drenaje.

Los iones son grupos de átomos con carga eléctrica positiva (+). Las células de algas, bacterias y otras partículas contenidas en el agua tienen carga negativa (-). La atracción (+ -) causa el agrupamiento de los iones y de éstas substancias extrañas. Los iones se adhieren a las células de algas, bacterias y hongos, penetrando en sus membranas e inhabilitándolas.

### **Microbiología del cobre y plata<sup>[12]</sup>**

En el mundo de la microbiología, los microorganismos tales como las bacterias, virus y algas poseen un envoltorio exterior llamado pared celular o membrana celular (Fig. 2. 2). La simple definición de pared nos da idea de que ha sido diseñada para proteger la integridad y conservar el

funcionamiento de los microorganismos.

Estas membranas tienen una carga negativa (-) como en el caso de la "legionella" y muchos otros organismos que viven y se desarrollan en el agua.

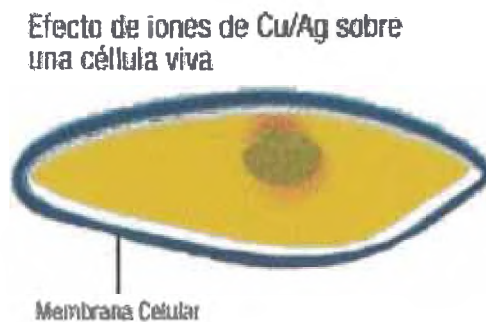


FIG. 2. 2

### **acción la biocida del proceso de ionización**

Transcurre En 4 Etapas Básicas

#### **a- Iones de cobre ( $\text{Cu}^+$ ) y Plata ( $\text{Ag}^+$ ) tienen una atracción con la membrana celular:**

Los elementos con carga negativa atraen a los que tienen carga positiva. Con la incorporación al agua de iones de cobre y plata con carga positiva (+), se produce una atracción hacia la membrana celular que posee carga negativa (-).

#### **b- Destrucción de la membrana celular:**

Una vez en contacto con la membrana celular, los iones de cobre y plata alteran e interrumpen la actividad de la membrana celular destruyéndola (Fig. 2. 3)



FIG. 2. 3

**C- Rotura de la pared celular y penetración de los Iones  $\text{Cu}^+$ / $\text{Ag}^+$  :**

Los Iones de Cobre penetran en el organismo. Estos iones son muy efectivos biocida para la mayoría de los microorganismos como bacterias. Sin embargo algunos microorganismos pueden sobrevivir y continuar con su ciclo de vida. Con la combinación con iones de plata los microorganismos son definitivamente eliminados cuando penetran en el microorganismo.(Fig. 2. 4),

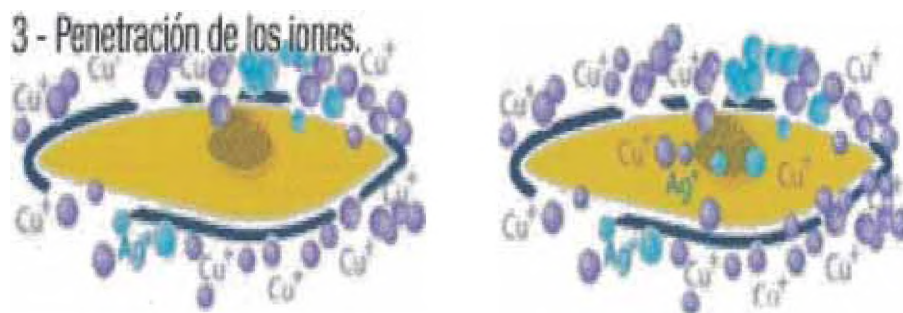
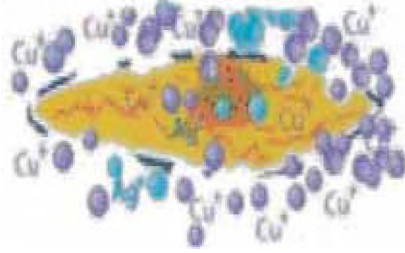


FIG. 2. 4

**D- Muerte de la Célula:** Con la destrucción de la membrana celular y de su metabolismo el final de del ciclo de vida del microorganismo es inminente(fig. 2. 5).

4 - Muerte de la célula.



5 - Iones de Plata y Cobre..



FIG. 2. 5

## ventajas y desventajas de la ionización cobre y plata<sup>[12]</sup>

### Ventajas

Ionización cobre y plata tiene un efecto residual más largo que otros desinfectantes. Iones de cobre y plata se mantienen en el agua por un largo periodo de tiempo. Es efectivo a través de todo el sistema de agua incluso en lugares donde corre lentamente el agua.

La efectividad del sistema no depende de la temperatura del agua. Cuando se ocupa la ionización se requiere menos mantención los iones no son corrosivos, esto causa menos estrés al sistema de distribución. La generación de los iones de cobre y plata en el lugar se traduce en que no se requiere mantener almacenados químicos ni transportarlos.

### Desventajas

La efectividad de la ionización depende del pH, a pH 9 solo un 10% de la efectividad se alcanza. Cuando la concentración de sólidos disueltos es alta la plata precipita, esto significa que la plata ya no va a estar disponible para desinfectar. Los iones de plata pueden fácilmente reaccionar con iones cloruro y nitrato presentes en el agua, provocando una pérdida de efectividad. Algunos de los microorganismos pueden ser resistentes o volverse resistentes a los iones plata. Estos pueden remover el metal de sus sistemas para convertirlos en productos menos tóxicos.

Para matar en forma efectiva a los microorganismos, los iones cobre y plata deben estar presentes en todo el sistema acuático. Cuando el sistema es poco utilizado o el flujo de agua es muy pequeño producen problemas para desinfección.

### **Efectos en La Salud con la ionización cobre- plata**

Se conoce poco sobre los efectos para la salud de la ionización cobre-plata. Hay evidencia insuficiente sobre los efectos a largo plazo que su exposición pueda suponer en la salud del hombre.

### **OMS**

La OMS tampoco dicta ningún estándar de concentración de plata como sistema de desinfección.

### **EE.UU.**

Los EE.UU. dictan un valor máximo de 1 mg/L de cobre y máximo de 0,1 mg/L de plata. (EPA, National Secondary Drinking Water regulations, 2002)



## **CAPITULO 3:**

# **MÉTODOS AVANZADOS DE DESINFECTANTES DEL AGUA**

### **3.1 DESINFECCIÓN CON RADIACION ULTRA VIOLETA<sup>[13]</sup>**

Una desinfección eficiente del agua mediante la irradiación ultravioleta (UV) involucra la observación de diversos principios que pueden ser nuevos para los profesionales del tratamiento de agua. El método presenta tanto desafíos como ventajas, ya que no deja residuos químicos en el agua de producto, pero sí requiere de un tratamiento previo para reducir los sólidos suspendidos que podrían perjudicar la transmisión de la luz ultravioleta, debido a un efecto de sombra que podría hacer que algunos contaminantes escapen de la desactivación. En determinadas longitudes de onda que producen ozono, la luz UV también ofrece propiedades de oxidación.

Existen algunos medios de desinfección mundialmente utilizados. Entre ellos destacamos el cloro, la luz ultravioleta y el ozono. Las diferentes formas de desinfección con cloro y derivados son las más utilizadas. Actualmente. Sin embargo, la luz ultravioleta y el ozono han avanzado notablemente como medios de desinfección. En este artículo vamos a abordar la desinfección por rayos ultravioleta.

La luz ultravioleta constituye una parte del espectro electromagnético, con longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros (nm). Cuanto menor la longitud de onda, mayor la energía producida. Las lámparas más usadas de baja presión de vapor de mercurio tienen una longitud de onda de 253.7 nm. Por lo tanto, la banda de UV-C es la más apropiada para la eliminación de microbios. La banda de UV de vacío (UV-V), específicamente con una longitud de onda de 185 nm, es apropiada para la producción de ozono

(O<sub>3</sub>). Las lámparas de luz ultravioleta y las fluorescentes son similares. La luz ultravioleta es producida como resultado del flujo de corriente a través del vapor de mercurio entre los electrodos de la lámpara. Las lámparas de baja presión de mercurio producen la mayoría de los rayos con longitud de 253.7 nm. Esta longitud es muy próxima a la longitud de 260 a 265 nm, la más eficiente para matar microbios.

La principal diferencia entre la lámpara germicida y la fluorescente es que la germicida es construida con cuarzo, mientras que en la fluorescente se usa vidrio, con una capa interna de fósforo que convierte la luz UV en luz visible. Colisiones entre electrones y átomos de mercurio provocan emisiones de radiación ultravioleta, la que no es visible al ojo humano. Cuando estos rayos colisionan con el fósforo, éstos “fluorescen” y se convierten en luz visible. El tubo de cuarzo transmite el 93% de los rayos UV de la lámpara, mientras que el vidrio (vidrio blando) emite muy pocos .., ver la Fig. 3.1

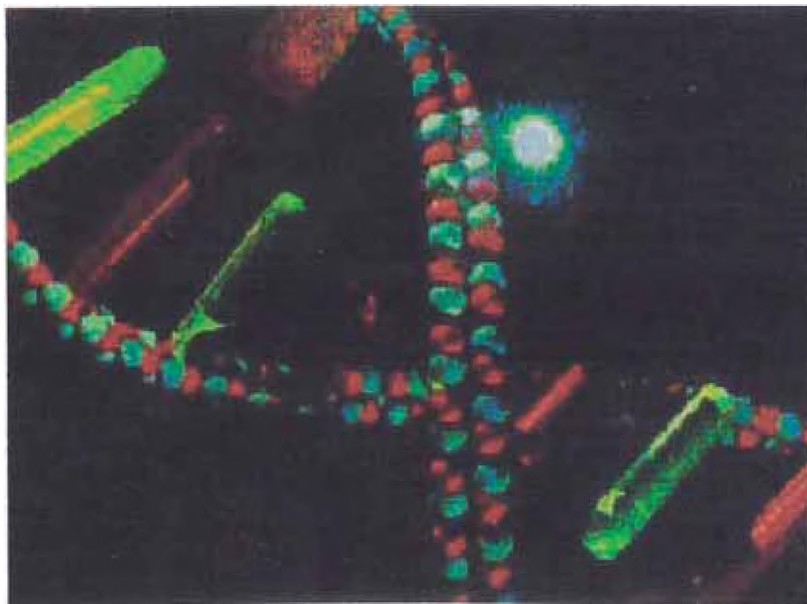


*FIG. 3.1 equipo de radiación ultravioleta*

## cómo funciona la desinfección<sup>[13]</sup>

“Microorganismo” es un término amplio que incluye varios grupos de gérmenes patógenos. Difieren en forma y ciclo de vida, pero son semejantes por su pequeño tamaño y simple estructura relativa. Los cinco grupos principales son virus, bacterias, hongos, algas y protozoarios. Observando una célula básica de bacteria, nos interesa la pared de la célula, la membrana citoplasmática y el ácido nucleico .

El blanco principal de la desinfección mediante la luz ultravioleta es el material genético—el ácido nucleico. Los microbios son destruidos por la radiación ultravioleta cuando la luz penetra a través de la célula y es absorbida por el ácido nucleico. La absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico provoca una reordenación de la información genética, lo que interfiere con la capacidad reproductora de la célula. Por consiguiente, los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico que sostiene el ácido nucleico. El ADN es una molécula en forma de doble hélice, compuesta de bases nitrogenadas-adenina, timina, citosina y guanina (ver Fig. 3. 2).



*Fig 3. 2 La doble hélice del ADN- la cadena de vida*

El ADN almacena toda la información necesaria para crear un ser vivo. El gene es la unidad de ADN capaz de sintetizar una proteína. El cromosoma es una secuencia larga de ADN parecida a un hilo. El genoma es el conjunto completo de los genes de una especie. La alta energía asociada a la corta longitud de onda (240 – 280 nm) es absorbida por el ARN y el ADN de la célula. La máxima absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico, ADN, ocurre con una longitud de onda de 260 nm.

### **desinfección vs. esterilización**

Esterilización es cuando se produce la eliminación total de patógenos por debajo de un nivel de medición especificado. La esterilización es definida como una reducción de contaminantes igual o superior a 8 Logs,  $10^{-8}$ , o el 99.999999%.

Desinfección significa la reducción de la concentración de patógenos a niveles no infecciosos. La desinfección alcanza varios niveles de reducción:

1 log	=	$10^{-1}$	=	90%
2 log	=	$10^{-2}$	=	99%
3 log	=	$10^{-3}$	=	99.9%
4 log	=	$10^{-4}$	=	99.99%
5 log	=	$10^{-5}$	=	99.999%

### **Requisitos que debe tener el agua con la técnica UV<sup>[13]</sup>**

Para efectuar la desinfección de agua potable e industrial, deben satisfacerse ciertas condiciones:

- Filtro de partículas de 5 micras, ya que los virus o bacterias pueden no ser alcanzados cuando existen partículas.

-Dependiendo de la calidad del agua, podrán ser necesarios filtros de carbón para la retención de material orgánico, para evitar que interfiera en la transmisión de la luz ultravioleta.

-Será necesario reducir los niveles de hierro y de manganeso a 0.3 partes por millón (ppm) y 0.05 ppm, respectivamente, y reducir la dureza por debajo de 100 ppm. Hierro, manganeso y dureza (calcio y magnesio) pueden precipitarse en el tubo de cuarzo, lo que perjudicará la transmisión de luz dado que los filtros de carbón y resinas pueden acelerar la multiplicación de bacterias, los reactores de ultravioleta deben ser instalados al final de la línea, es decir, detrás de los mismos.

### **Factores que afectan la desinfección**

- Calidad del agua
- Transmisión de luz UV
- Sólidos en suspensiones
- Nivel de orgánicos disueltos
- Dureza total
- Condición de la lámpara
- Limpieza del tubo de cuarzo
- Tiempo de uso de la lámpara
- Tratamiento del agua antes de aplicar luz UV
- Flujo
- Diseño del reactor

Estos factores están relacionados principalmente con la exposición de los contaminantes en el agua y la transmisión eficiente de luz UV para una activación adecuada. Los problemas incluyen el sombreado (cuando los contaminantes pequeños son ofuscados por otros contaminantes presentes en el agua), incrustación o decoloración del tubo de cuarzo, intensidad de la lámpara y flujos no adecuados. En la siguiente tabla 3. 1 se muestran valores reportados por varias fuentes de dosis de energía ultravioleta para eliminar algunos micro-organismos. Estos dan una idea del rango y orden de la magnitud de la exposición.

La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima (en el agua) de 30.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Esto es adecuado para inactivar las bacterias y virus patógenos, pero quizá no sea suficiente

para ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nemátodos, que pueden requerir hasta 100.000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  para su activación total.

*Tabla 3. 1 Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos del agua <sup>[14]</sup>*

<b>BACTERIAS ENERGIA</b>	<b><math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></b>	<b>OTROS ORGANISMOS ENERGIA</b>	<b><math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></b>
Vibrio cholerae	6.500		
Bacillus anthracis	8.700		
S. enteritidis	7.600		
B. Megatherium sp.(veg)	2.500		
B. Megatherium sp.(sporas)	5.200	<b>LEVADURA</b>	
B. peratyphosus	6.100	Saccharomyces ellipsoideus	13.200
B. subtilis	11.000	Saccharomyces sp.	1.600
B. subtilis spores	22.000	Saccharomyces cerevisiae Levadura para cerveza	13.200
Clostridium tetani	22.000	Levadura para panadería	660
Corynebacterium diphtheriae	6.500	Levadura para repostería	800
Eberthella typosa	4.100		13.200
Escherichia coli	6.600		
Micrococcus candidus	12.300		
Mycobacterium tuberculosis	10.000		
Neisseria catarrhalis	8.500		
Phytomonas tumefaciens	500		
Proteus vulgaris	6.600	<b>ESPORAS</b>	
Pseudomonas aeryginosa	10.500		
Pseudomonas fluorescens	6.600	Penicillium roqueforti	26.400
S. typhimurium	15.200	Penicillium expansum	22.000
Salmonella	10.000	Mucor racemosus A	35.200
Sarcina lutea	26.400	Mucor racemosus B	5.200
Serratia marcescens	6.160	Oospora lactis	1.100
Dysentry bacilli	6.160		
Shigella paradysenteriae	5.720		
Spirillum rubrum	6.600		
Staphylococcus alous	5.500	<b>VIRUS</b>	
Staphylococcus aureus			

Streptococcus hemolyticus	8.800	Bacteriophage (E. coli)	
Streptococcus lactis	3.800	Virus de la influenza	6.600
Streptococcus viridans		Virus de la hepatitis	6.600
		Poliovirus(Poliomyelitis)	8.000
		Rotavirus	1.000
			24.000

### **ventajas y desventajas del empleo de la luz ultra violeta<sup>[14]</sup>**

La principal ventaja en la aplicación de estas radiaciones en la desinfección del agua es su bajo coste de inversión y operación, no emplear productos químicos ni reacciona con los constituyentes del agua y por tanto no generar subproductos ni origina sabores ni olores y a su vez es compatible con otros procesos complementarios de desinfección que aporten un residual más permanente. Es precisamente esta carencia de desinfección residual a lo largo de la red de abastecimiento, la posible desventaja de las radiaciones UV si se emplearan como desinfectante único. Otra ventaja es no necesitar tanques de mezcla o de contacto.

Está muy extendida su aplicación a pequeños sistemas de abastecimiento y en la desinfección de agua para aplicaciones y usos concretos en hospitales, escuelas, industrias de bebidas, alimenticias y farmacéuticas.

La profundidad de penetración de esta radiación en el agua es limitada, dificultando su actuación el color y la turbiedad del agua por lo que para aumentar el rendimiento en la eliminación de microorganismos, se deben irradiar solo láminas delgadas de agua. Su aplicación solo se reduce a aguas claras y no contaminadas.

Con el transcurso del tiempo, las lámparas suelen ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos. La vida útil de las lámparas es muy limitada.

#### **3.1.1 Radiación ultravioleta como descontaminante de alimentos<sup>[15]</sup>**

El uso de radiación ultravioleta se está ensayando con el doble objetivo de

prolongar la conservación de los alimentos y mantener sus propiedades básica. Figura 3.3

La mayoría de las conservas y semiconservas alimenticias se tratan térmicamente, normalmente a temperaturas variables que oscilan entre 60°C a 140°C, durante pocos segundos o minutos. Durante este tiempo se transfiere una gran cantidad de energía al alimento, lo que implica modificaciones en el aspecto y en la aparición de aromas a calentado o cocido. El uso de radiación ultravioleta se baraja, en este contexto, como una tecnología alternativa de interés.



*FIG. 3.3*

Actualmente se prefiere el consumo de alimentos frescos, o lo más parecido a los alimentos frescos, pero al mismo tiempo, se pretende que la vida comercial de esos mismos productos sea lo más prolongada posible. Estos dos conceptos son contrarios entre sí, puesto que un alimento fresco, por definición, es el que posee una menor vida comercial. Sin embargo, para poder prolongar la vida de los alimentos se necesitan tratamientos de conservación. La consecuencia es que cada vez se están invirtiendo una



mayor cantidad de recursos económicos y humanos, con la finalidad de conseguir otros procedimientos de conservación que mantengan las características de los alimentos frescos.

Entre los diferentes sistemas, recientemente se están publicando resultados interesantes basados en el empleo de la luz ultravioleta. Este tipo de metodologías se basan en la eficacia de la desinfección de un sistema tan conocido y barato como es la luz solar.

### **La radiación ultravioleta en los alimentos<sup>[15]</sup>**

La capacidad de la radiación ultravioleta para la destrucción de microorganismos es bien conocida. Posee la propiedad de afectar, entre otras estructuras, el material genético de los microorganismos, lo que impide la multiplicación y la viabilidad de sus células. De modo general, puede decirse que afecta tanto a las bacterias como a sus esporas, así como a los virus.

La radiación ultravioleta afecta el material genético de los microorganismos lo que impide la multiplicación y la viabilidad de sus células. Pese a ello, su aplicación efectiva ha estado limitada hasta hace poco tiempo. La principal fuente de radiación ultravioleta, conocida por la mayoría de los consumidores, es el sol. De todos es conocido que al exponernos a la luz del sol directa nuestra piel suele cambiar de color, oscureciéndose. Esto nos lleva a un deseado estado de bronceado de la piel.

Sin embargo, no muchas personas saben que esto es debido a una reacción protectora de nuestro organismo. Esa protección natural contra la letalidad de la radiación ultravioleta del sol, se traduce en el oscurecimiento de la piel, de modo que actúa como un filtro natural. Para aumentar su efectividad se emplean filtros protectores adicionales.

Debido a sus características y a su acción sobre las células, esta radiación natural podría emplearse para desinfectar la superficie de una gran cantidad de cosas. No obstante, la intensidad y la cantidad de rayos ultravioletas no son suficientes para asegurar un uso rutinario en industrias de alimentación. Para poder utilizarlo se requieren equipos específicos que permitan incrementar la cantidad e intensidad de la radiación.

Para lograrlo, se han utilizado diversos sistemas a lo largo del tiempo. El primero de ellos fue el secado de los productos al sol, método que actualmente se sigue empleando en países cálidos en desarrollo. Evidentemente, este sistema es el más barato, puesto que no implica ningún coste económico, pero requiere días, incluso semanas, para completar la conserbabilidad del producto. Sin embargo, el alimento final es muy diferente del fresco.

El que más frecuentemente se aplica en la actualidad es un sistema continuo, donde unos emisores de radiación, que se encuentran encendidos permanentemente, aplican radiación ultravioleta sobre agua o un alimento líquido o en polvo. En este caso, según la velocidad de paso, se consigue la intensidad de tratamiento. No obstante, tampoco en todos los casos se consigue una eficacia adecuada, sobre todo en alimentos sólidos.

Por este motivo, se está empleando un sistema de emisión de luz de elevada intensidad, pero de forma pulsado, no en continuo. En este caso el secreto está en la aplicación de pulsos de una duración máxima de 0,1 segundos, aunque normalmente los tiempos medios son de 100 microsegundos, pero con picos de muy elevada energía.

### **Efectos negativos de la luz ultravioleta en los alimentos**<sup>[15]</sup>

El uso de los ultravioletas, como hemos comentado, es conocido desde hace tiempo, empleándose en la desinfección de agua, sobre todo para la

empleada en la depuración de moluscos, puesto que no deja residuos químicos que puedan afectar la vida de los animales.

Para los alimentos, aparte del agua, se han utilizado en un intento de conseguir la desinfección de la superficie de canales y de carne, sobre todo por su facilidad de uso, su escasa toxicidad para los manipuladores y su precio normalmente bajo. Sin embargo, se ha demostrado que induce la generación de componentes que inician la oxidación de alimento (5). Esto implica un problema muy serio, puesto que no sólo se produce una modificación de las características organolépticas del producto, sino que además ésta implica una alteración del alimento.

Ante esta expectativa no parecía que el tratamiento fuese lo suficientemente interesante. No obstante, cuando se aplica de forma pulsada, el escaso tiempo de exposición limita la presentación de estas sustancias, lo que permite evitar este efecto secundario indeseable.

Tras el análisis de los alimentos tratados con pulsos de elevada intensidad de ultravioletas, no se detectan modificaciones químicas del producto, lo que indudablemente permite que el alimento sea estable durante más tiempo, no manifestando cambios en sus características y manteniendo su poder nutritivo. Sólo se ha señalado una excepción. Se trata de las patatas blancas, en las que se aprecia un ligero pardeamiento. Está claro que en este caso el producto resultante no tendría interés comercial.

### **3.2. DESINFECCIÓN POR FOTOCATÁLISIS <sup>[16]</sup>**

La fotocatalisis es una reacción fotoquímica que involucra la absorción de luz ultravioleta por parte de un catalizador o sustrato consistente en un material semiconductor. Durante el proceso tienen lugar reacciones tanto de

oxidación como de reducción.

Para llevar a cabo la fotocatalisis es necesaria la activación del material semiconductor ( $\text{TiO}_2$ ) mediante radiación ultravioleta a unas longitudes de onda adecuadas. De esta forma, por cada fotón con una energía determinada que incide sobre el material semiconductor, se promueve un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción.

Mediante esta tecnología se generan oxidantes como el ión hidroxilo que, en medio acuoso, reaccionan con los contaminantes orgánicos degradándolos a anhídrido carbónico y agua ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) más Compuestos Inorgánicos. Además, se genera un importante efecto biocida con desinfecciones superiores al 99,9% de efectividad en eliminación de legionella, aerobios, bacterias, virus y todo tipo de organismos patógenos sin utilizar ningún agente químico.

Otra ventaja de la fotocatalisis es que actúa de forma instantánea no siendo necesaria la instalación de depósitos de contacto y permitiendo instalaciones sencillas. Por otra parte, no produce ningún tipo de corrosión ni deterioro de las instalaciones ya que el sistema no emplea el uso de agentes químicos al tratarse de un sistema de tratamiento físico que no modifica las propiedades organolépticas del agua.

El tratamiento de fotocatalisis es, por tanto, adecuado para desinfección de agua residual o agua de proceso industrial y además, debido a su carácter oxidante y la facilidad para romper enlaces saturados, puede usarse como pretratamiento a otro tipo de oxidación con el objetivo de reducir DQO en aguas poco biodegradables y con dificultad para ser oxidadas con los métodos convencionales.

### **Fotocatalisis heterogénea solar con $\text{TiO}_2$ (FH)<sup>[17]</sup>**

Es una tecnología avanzada de oxidación que emplea una sustancia barata,

reutilizable y no tóxica, el dióxido de titanio que elimina compuestos orgánicos tóxicos, metales como cromo o arsénico, y hasta puede destruir bacterias y virus. En este caso, las botellas se colocan al sol con el agua y el fotocatalizador ( $\text{TiO}_2$ ) fijado a sus paredes por un procedimiento muy simple, que podría ser efectuado por los mismos pobladores, adecuadamente instruidos para ello.

En esta técnica podría eliminar todo el arsénico, la contaminación microbiana, orgánica y probablemente el uranio (aunque los estudios no han finalizado).

El dióxido de titanio está presente en los jugos sintéticos, tipo Tang (se usa como espesante), también en cosméticos y pantallas solares.

El procedimiento consiste en hacer una pequeña capa de este dióxido, un especie de film, que se coloca en el interior de la botella. El mismo le da opacidad y se estima que expuesto a la energía solar podría eliminar todos los tóxicos.

### 3.3 ELECTROQUÍMICA DEL AGUA

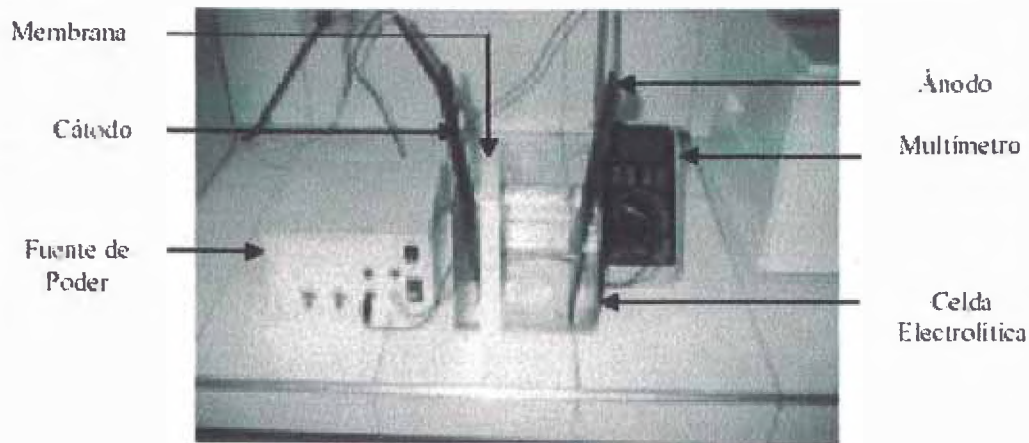
#### Potencial de Oxidación

Todos los elementos químicos en función de su configuración electrónica pueden ceder electrones y quedar con carga positiva o ganar electrones y cargarse negativamente. De esta norma se excluyen los gases nobles que responden a una configuración electrónica perfecta. Cuando un elemento cede un electrón se dice que se oxida mientras que cuando lo gana se dice que se reduce. Para que un elemento pueda oxidarse es necesario que exista un aceptor de ese electrón, otro elemento que se reduce.



Los elementos que presentan gran facilidad para ceder electrones y oxidarse se les conoce como reductores, cuyo patrón es el hidrógeno. Los elementos proclives a ganar electrones y reducirse se les conoce como oxidantes, cuyo prototipo es el oxígeno de donde se deriva el nombre del proceso. El conjunto de un oxidante y un reductor es lo que se conoce como un sistema redox. Entre ambos elementos existe una transferencia de electrones que genera una corriente eléctrica, marcada por una diferencia de potencial entre ambos. Este es, como sabemos, el mecanismo de las pilas eléctricas.

Cuando se ponen en contacto dos elementos en solución, con presencia de su forma elemental y la forma ionizada correspondiente, siempre hay uno que se oxida y otro que se reduce, lo que se manifiesta por el incremento en una de sus formas. El elemento que se reduce es el que posee una capacidad oxidante mayor. La capacidad oxidante es lo que se conoce como potencial de oxidación ( $E_h$ ), que cuanto más alto es, mayor es la capacidad oxidante del sistema y mayor es la concentración de la forma reducida. El potencial de oxidación se mide en voltios, aunque como su valor es muy pequeño se expresa usualmente en milivoltios (mV).



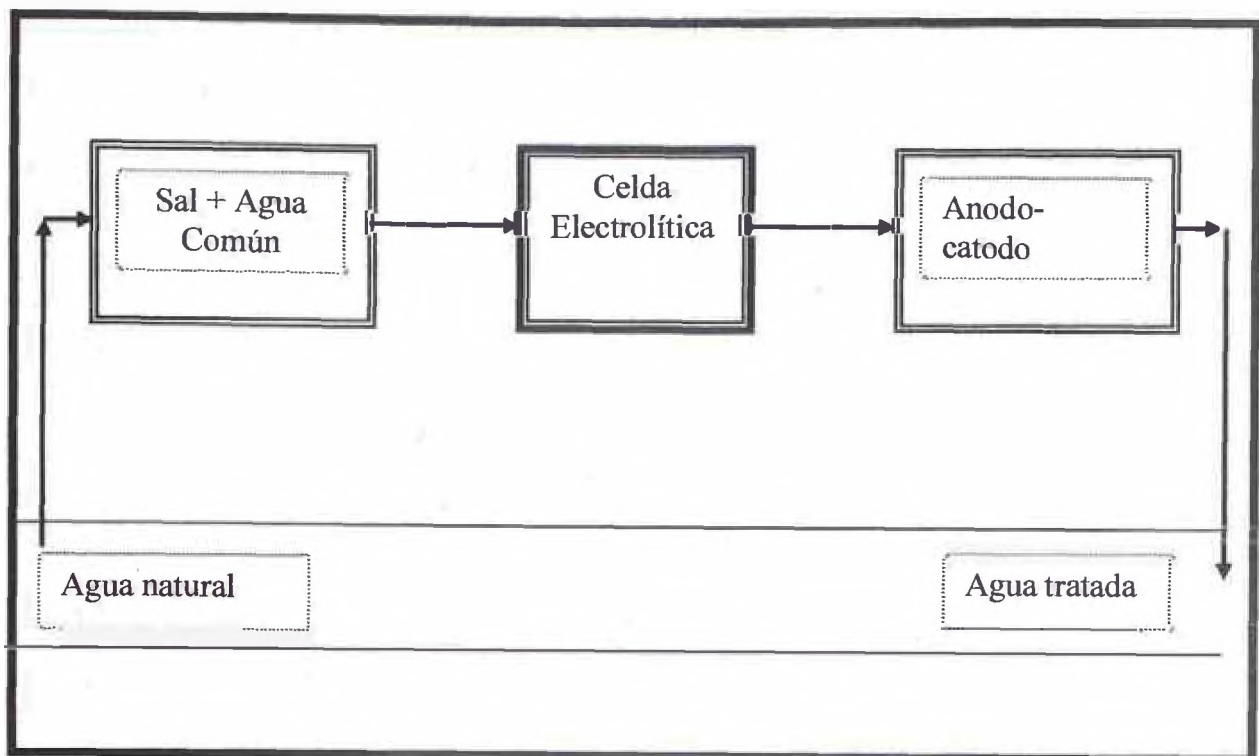
*FIG. 3. 4: celda electrolytica*

### **Concepto de la activación electroquímica<sup>[18]</sup>**

La activación electroquímica del agua comprende la exposición del agua y las sales naturales que contiene o la adición de sales a una diferencia substancial de potencial eléctrico. Si se pone un ánodo (+) y un cátodo (-) en agua pura y se aplica una corriente directa, la electrolisis del agua ocurre en los polos dando como resultado la ruptura del agua en sus elementos constitutivos, producción de oxígeno gaseoso e hidrogeno. Si se usa cloruro de sodio (NaCl), sal común de mesa en la solución, el producto final predominante de la electrolisis es el hipoclorito, reactivo base del cloro, que es comúnmente usado en el tratamiento del agua para matar microorganismos.

### **3.4 TECNOLOGÍA**

Por electrólisis de una solución salina se obtienen dos elementos ánodo y cátodo. El procedimiento se denomina Activación Electro Química (ECA Electro Chemical Activation)



*FIG. 3. 5*

Como se ve en la Fig. 3. 5 una Solución de agua común y sal es sometida al proceso de Activación electroquímica, obteniendo como resultado el biocida que será mezclado con el agua común para lograr su desinfección.

AGUA ANODO: Es un desinfectante muy eficaz contra bacterias, hongos, esporas, virus y algas.

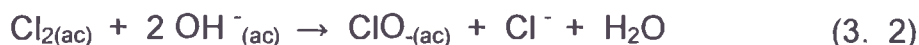
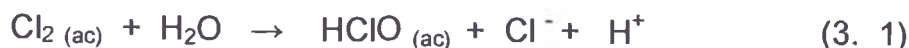
AGUA CATODO: Se utiliza como solución alcalina para lavado y limpieza además para floculación de ciertos metales pesados y como coagulante.

AGUA NEUTRA: Se obtiene combinando los anteriores y es principalmente apto para eliminar bacterias, virus, hongos, algas y esporas del agua.

El proceso de la activación electroquímica desarrollado por científicos rusos esta basado en esta reacción. La sal, que está en solución en su forma ionizada ( $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ), es expuesta a una diferencia de potencial



eléctrico controlado entre el cátodo y el ánodo. La diferencia de potencial provoca que los iones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> migren hacia el polo de carga opuesta.



El resultado neto es el enriquecimiento de iones de cloro en el polo del ánodo y los iones de sodio en el polo del cátodo. De igual manera, el agua es también extensamente ionizada y también tenderá a migrar al polo opuesto.



Altas concentraciones de Cl<sup>-</sup> y OH<sup>-</sup> sin la compensación del Na<sup>+</sup> e H<sup>+</sup> se forman en cada lado de los polos. Este estado químico inestable da como resultado una serie de complejas reacciones que producen una solución meta estable que contiene una amplia variedad de iones reactivos y radicales libres. Es la formación de estas complejas especies químicas las que llevan a describir las soluciones formadas como **“agua activada electroquímicamente”**.

Algunos de los más importantes componentes reactivos formados incluyen: hipoclorito (HClO), peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), cloro (Cl<sub>2</sub>) y HClO<sub>3</sub>.

La mayoría de los componentes se forman en el polo del ánodo, son ácidos en su naturaleza y son compuestos oxidantes muy poderosos, mientras que los compuestos formados en el polo del cátodo tienden a ser bases y son agentes reductores muy potentes. Como resultado, el agua catolizada es ácida (pH 2.4-4) mientras que el agua anolizada es alcalina (pH 10-12), esto es en relación al pH neutro de la solución inicial de NaCl.

Análogamente, las soluciones analizadas y catolizadas desarrollan potenciales opuestos. El agua anolizada tiene un potencial de oxido-reducción de +1200mV mientras que el agua catolizada alcanza valores de -1000mV en relación al potencial de +300-400mV de la solución inicial de NaCl.

Estas soluciones concentradas y altamente reactivas pueden ser usadas para el tratamiento del agua, el agua anolizada con poder oxidante para destruir microorganismos y materia orgánica y el agua catolizada para precipitar iones metálicos.

Estas soluciones pueden mantener mucha de su actividad por meses o aún años. Si se mezclan en ciertas proporciones pueden formar un producto neutral estable con un pH de 6.5-7.5 con un potencial de oxido-reducción de 650 mV.

La actividad esporicida puede mantenerse por semanas manteniendo la actividad germicida hasta por meses o años. Esta estabilidad y actividad depende del poder de densidad que se usó durante la preparación de estos líquidos.

El agua anolizada tiene más poder oxidante de destrucción microbiana que las soluciones a base de cloro comparados en términos de la medición de cloro presente en la solución. Como resultado, el agua anolizada tiene propiedades de esterilización y desinfección superiores ya que la especie de reactivos presentes en la solución (Cloro, ozono, peróxido de oxígeno, etc.) son más efectivas en la destrucción de microorganismos y moléculas orgánicas que el cloro por si solo.

Las moléculas orgánicas tales como pesticidas, taninos y fenoles, los cuales son una preocupación en términos de toxicidad, son oxidadas con gran efectividad. El cloro que es un componente clave en el agua anolizada, clorina el agua y por su bajo potencial de oxido-reducción la formación de hidrocarburos clorinados potencialmente peligrosos se minimiza porque el bajo potencial de oxido-reducción no favorece su formación. Como tal el agua anolizada es un medio efectivo para la

eliminación de organismos

patógenos (tales como E. coli, colera, etc.) del agua mientras simultáneamente destruye los compuestos orgánicos que son comúnmente asociados con el mal sabor y color.

El agua catolizada no tiene propiedades esterilizantes, sin embargo es útil ya que al predominar iones  $\text{OH}^-$  y por su poder de reducción combina efectivamente para precipitar los iones metálicos de la solución.

Por lo antes expuesto, la tecnología de activación electroquímica del agua es un gran avance para el tratamiento del agua, combinando sus habilidades de ozonización, clorinización y radiación ultravioleta.

### **Acción Biocida**

Está comprobado que el agua anolizada para esterilización funciona en la eliminación de microorganismos tan diversos como esporas desde subtilis ver niger hasta MRSA. Esta solución puede ser administrada tal como sale del equipo o diluida. El mecanismo exacto de cómo opera la acción biocida no ha sido completamente entendido. El hecho es que la acción biocida puede ser cuantificada y está probada ya que da una reducción Log 6 en las esporas como la subtilis ver niger en 30 segundos. El rompimiento de la pared celular del microorganismo es rápido y violento asegurando que no pueda alcanzar ninguna inmunidad. Este debilitamiento permite al cloro destruir al microorganismo.

Los estudios sobre este extraordinario biocida han sido llevados a cabo por varias universidades en Rusia y Japón.

Las soluciones producidas, particularmente el agua anolizada neutra son benignas y no tienen efectos adversos en la piel de humanos y animales. Las soluciones son oxidantes pero en muy baja escala debido a la baja carga química que poseen. Son eco-amigables y no causan problemas al medio ambiente.

Otros biocidas a base de cloro tienen una alta acción oxidante y se respaldan en esta propiedad para llevar a cabo la eliminación de las

bacterias y virus. El agua anolizada tiene una manera diferente de eliminación y está comprobado ser mucho más efectiva (aún con esporas) sin la necesidad de reacciones oxidativas agresivas (y algunos dirían que corrosivas) para lograr una eficiente eliminación de los microorganismos. Esto es en esencia lo que hace que esta increíble solución biocida sea una invaluable herramienta para luchar contra todos los microorganismos que afectan a los seres humanos y animales.

## **Otros Campos De Aplicacion**

Desinfección de:

- Piscinas de natación
- Sector sanitario
- Utensilios, equipos, azulejos y superficies
- Cuartos, mobiliario y objetos
- Instrumentos y herramientas
- Áreas industriales
- Cloacas y efluentes
- Retretes químicos
- Torres de enfriamiento

### **a. Ganadería:**

- Tratando los residuos se eliminan patógenos causantes de mastitis, diarreas e infecciones
- Mejora el rendimiento de alimentos

### **b. Criaderos de cerdos:**

- Previene enfermedades como mastitis, diarreas, metritis (úteros inflamados), agalactia (*Streptococcus agalactial*)
- Limpia y desinfecta pocilgas

**c. Criaderos de Aves:**

Desinfección general de criaderos

Limpieza de superficies y medio ambiente pulverizando para eliminar bacterias aeróbicas

Se reducen los porcentajes de mortalidad

Se controla la peste de las plumas (piojos)

Las bacterias aeróbicas y anaeróbicas se eliminan por pulverización / nebulización

Simplifica equipos de limpieza

**d. Agricultura - Horticultura - Floricultura**

Desinfecta semillas

Prolonga vida y mejora aspecto de verduras, frutas y flores cortadas

Purifica agua de riego

Desinfecta plantines y bulbos

**3.4.1 PRODUCCION DE AGUA ELECTROLIZADA PARA ELIMINACION DE MICROORGANISMOS EN LECHUGA<sup>[19]</sup>**

Una diversidad de desinfectantes químicos han sido usados para reducir las poblaciones de patógenos en productos frescos. El cloro esta entre los desinfectantes químicos más usados en el lavado de hortalizas; sin embargo, otros químicos, incluyendo el dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, ácidos orgánicos, fosfato trisódico ozono han sido evaluados y en algunas instancias usados. Sin embargo, muchos de los químicos evaluados presentan mínimos efectos en inactivación de patógenos en vegetales debido a esto, son necesarios tratamientos eficaces para inactivar patógenos . El agua Electrolizada oxidante (EO) es el producto de un nuevo concepto desarrollado en el Japón. Experimentalmente se ha determinado que el agua EO es un tratamiento efectivo en limpieza y desinfección de superficies de cocina, eliminación de patógenos de los

alimentos en condiciones "in vitro" y ha sido usado experimentalmente en Japón por profesionales médicos y dentales para el tratamiento de heridas o para la desinfección de equipo médico (Venkitanarayanan et al., 1999, Rutala 2002).

El objetivo de este trabajo, fue diseñar una celda electrolítica capaz de producir agua EO con cualidades específicas como un bajo pH, y altas cantidades de cloro residual o libre. Con este proyecto se buscó dar aplicabilidad a esta metodología en el área de microbiología de los alimentos ya que posee muchos beneficios dentro de los cuales está la economía de la anterior, refutando la tesis de su elevado costo debido a que su producción se puede realizar con materiales económicos .

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Diseño de la celda electrolítica:** Para la construcción de la celda se seleccionaron materiales inertes que no sufren corrosión con sustancias como el NaOH y el HClO que se esperaba estuvieran presentes durante la electrolisis. Se diseñó una celda de producción cúbica, con un volumen de 3.37 dm<sup>3</sup>, elaborada en vidrio. Para los electrodos se seleccionó el grafito. Estos electrodos (ánodo y cátodo), fueron impregnados con un aceite protector para aumentar su densidad aparente y reducir su porosidad (Montes et al., 1999). Ánodo y cátodo fueron posicionados en caras opuestas y conectados a una fuente de poder continua genérica, la cual suministraba 2 amperios (A) a una tensión de 26,77 voltios (V) en promedio. Al interior de la celda se dispuso una membrana de poliestireno (Darnel□) que dividiría la celda en dos cavidades para la producción del agua alcalina y ácida (agua EO). Las mediciones de voltaje, amperaje y resistencia se midieron con un Multímetro (Tech TM-109□).

**Producción de agua EO:** Para la producción de agua EO se esterilizaron dos litros de agua desionizada usando calor húmedo (15 libras de presión por 15 minutos a 121 ° C). Una vez estéril el agua desionizada se preparó una solución de cloruro de sodio (NaCl) 5% (Izumi y colbs. 2000), luego se alimentó la celda electrolítica con esta solución. Posteriormente los electrodos fueron conectados durante 30 minutos a una fuente de poder que suministró una corriente de 2 A a una tensión de 26,77 V.

**Determinación del pH:** Durante el tiempo de elaboración del agua se realizaron mediciones del pH utilizando un pH-metro (SCHOTT GERÄTE CG-820) previamente calibrado a intervalos de 1 minuto.

**Determinación del Cloro:** El cloro libre o residual fue determinado por la técnica espectrofotométrica usando el Kit cloro Spectroquant ref. 1.14828.0001 (Merck, Darmstat, Alemania). Las mediciones se realizaron en intervalos de 1 minuto durante los 30 minutos de electrólisis. Esta medición se hizo con el fin de determinar el momento en el que la concentración de cloro residual era la más elevada. (Doyle, M. 1999). Luego de conocer el tiempo en el que se produjo la mayor concentración de cloro residual, el agua producida en la cavidad anódica (Agua EO) fue envasada en frascos ámbar para su posterior uso (Rojas y colb. 1998) .

**Determinación de la turbiedad y transparencia:** Se determinó la turbiedad del agua usando el equipo Merck Turbicuant 1500T, la transparencia se realizó con el kit color aquaquant ref. 1.14421.0001 (Merck Darmstad Alemania) Efecto microbicida del agua EO sobre microorganismos presentes en lechuga.

Las lechugas manejadas (36 unidades) en este ensayo fueron obtenidas de

un expendio ubicado en la central de abastos de Paloquemado en la ciudad de Bogotá, todas procedían de la misma carga y embalaje. Las muestras fueron almacenadas a 4°C antes de ser analizadas (con un intervalo máximo de 2 días) (Österblad et al 1999). Se retiraron las hojas exteriores que regularmente no son utilizadas para el consumo humano, la siguiente capa de hojas fue la empleada para el tratamiento con agua EO. 10g de estas hojas fueron pesados y sometidos a tratamiento por inmersión en 200 ml de agua EO, este procedimiento se repitió con intervalos de tratamiento de 0, 2, 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión en agua EO.

Posteriormente se realizó análisis microbiológico a cada una de las muestras tratadas que comprendió recuento de bacterias mesófilas aeróbicas en agar Plate Count a 35°C por 24 horas, recuento de hongos y levaduras en agar Oxitetracilina-Glucosa-Extracto de levadura (OGY) a 22°C de 5 a 7 días, número mas probable (NMP) de coliformes en caldo brilla a 35°C por 24 a 48 horas y coliformes termotolerantes en caldo brilla a 44.5°C por 24 a 48 horas (INVIMA 1998). Con el fin de evidenciar la acción del agua EO como agente microbicida se hicieron análisis microbiológicos de la lechuga no sometida al tratamiento para conocer su carga microbiana inicial. La selección de estos grupos indicadores se debió a los lineamientos emitidos por la Secretaria de Salud de Cundinamarca.

**Análisis estadístico:** Con el fin de evaluar la capacidad reductora de microorganismos presentes en lechuga cruda se realizaron pruebas de crecimiento microbiano que fueron analizadas estadísticamente por pruebas de hipótesis con t student. Estas pruebas fueron realizadas para los grupos indicadores: bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales, coliformes termotolerantes y hongos y levaduras en diferente tiempos de contacto con el agua EO.



### 3.5 potencial de oxidacion y reduccion (POR) <sup>[20]</sup>

El electrodo para potencial de óxido-reducción utiliza platino para el electrodo medidor y plata para el electrodo de referencia.



*Fig. 3. 6: Electrodo para Potencial de Oxidación - Reducción*

#### **Introducción al potencial de oxido-reducción como la norma para dar seguimiento a la desinfección postcosecha de agua**

Las actividades de cosecha de frutas y hortalizas frescas, su manejo postcosecha como el enfriamiento, el empackado y el procesamiento involucran el uso de agua y por eso tienen una alta probabilidad de ampliar la contaminación de los patógenos vegetales y los microorganismos de preocupación de seguridad alimentaria. Los pequeños errores en los procedimientos de prevención de la contaminación y la desinfección de agua pueden tener consecuencias severas debido a la capacidad que tienen los microorganismos de moverse, especialmente en los sistemas de recirculación del agua.

El seguimiento y registro de los procedimientos de desinfección son un componente importante de un programa de calidad y seguridad postcosecha. El potencial de oxido-reducción (POR), medida en milivoltios (mV), ha sido introducido recientemente a los empacadoras y distribuidores de productos frescos como una técnica fácilmente estandarizada para la desinfección durante la cosecha y el manejo postcosecha. Operando similarmente como un termómetro digital o un electrodo de pH, los sensores

POR permiten un registro, seguimiento y mantenimiento automático fáciles de los niveles críticos de los desinfectantes in los sistemas de agua.

El propósito de este escrito es proporcionar un breve resumen de la aplicación de POR en los procesos de desinfección postcosecha y describir la relación de valores de mV a las normas tradicionales que se basan en estimaciones de ppm (partes por million) de desinfectante activo.

La desinfección del agua es un paso crítico para minimizar la transmisión potencial de patógenos de una fuente de agua a los productos frescos, de producto a producto en un lote, y entre lotes con el tiempo. Los microorganismos transmitidos en el agua, sean patógenos vegetales postcosecha o agentes de enfermedades humanas, pueden mover rápidamente de un punto fuente limitado a los productos no contaminados. La superficie natural de las plantas, las aberturas naturales, las heridas causadas durante la cosecha y recorte, y los daños durante el manejo pueden servir como puntos de entrada para los microorganismos. Dentro de estos sitios, los microorganismos no son afectados por los tratamientos postcosecha comunes para el agua tales como el cloro, el dióxido de cloro, el ozono, peróxido, ácido peroxiacético, la irradiación UV y otros tratamientos aprobados. Es esencial entonces, que el agua utilizada para el lavado, enfriamiento, transporte, aspersiones postcosecha, u otros procedimientos sean mantenidos en una condición apropiada. Los requerimientos de calidad microbiana del agua aumentan con el movimiento del producto desde el campo a la empacadora final. Eso es particularmente cierto en los sistemas de recirculación del agua, tales como los hidroenfriadores o sistemas de inyección de hielo-líquido. Algunas aplicaciones específicas, como las aspersiones de agua sobre la superficie (por ejemplo, la cosecha de la coliflor frecuentemente incluye una aspersion de agua clorada y la envoltura de la cabeza con una película protectora plástica) requieren el mantenimiento de agua de alta calidad.

El monitoreo es un punto de control esencial para asegurar la desinfección del agua utilizado para limpiar las superficies o para el contacto directo con los productos frescos. Tradicionalmente el tratamiento mas comúnmente usado para el agua, el cloro o hipoclorito, ha sido seguido por mediciones cualitativas de ppm (partes por millón) total y o disponible de cloro libre. Pruebas de titulación, o mas comúnmente las piezas de papel impregnadas químicamente, estiman el rango de formas del cloro con actividad antimicrobiana (la mas efectiva es el ácido hipocloroso o HOCl) en el agua. No hay un kit de pruebas que diferencie entre la forma mas activa HOCl de la forma iónica mucho menos activa, el hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) (Ver las discusión sobre los efectos del pH sobre la balanza del HOCl a  $\text{OCl}^-$ ). También hay kits colorimétricos similares para seguir las concentraciones del ozono en el agua .

La registros para documentar las condiciones efectivas antimicrobianas por cualquier proceso de cosecha o postcosecha pueden ser una hoja para anotar o una lista de registro. Una calendarización periódica de muestreo basada en la experiencia con el producto específico y las condiciones de producción (tierra, residuos vegetales, fluidos o sólidos de producto dañado, o otros factores) pueden ser eficaces si el personal entrenado se apega a los procedimientos establecidos.

La experiencia práctica nos da evidencias que no siempre el control del proceso ni los procedimientos son seguidos. La estimación precisa del cloro generalmente requiere procedimientos más detallados y tediosos que muchos operadores están dispuestos a cumplir. Debido a que los kits de cloro no distinguen entre el HOCl y  $\text{OCl}^-$ , es también importante seguir y controlar el pH del agua. El balance dinámico de las dos formas de hipoclorito en el agua cambia notablemente entre el pH 6.5 y 8.0. La forma de acción antimicrobiana más rápida, HOCl, ocurre al 95 a 80% del cloro

libre detectado con los papeles de prueba a un pH 6.5 a 7.0. Este nivel baja a menos al 20% a un pH superior al 8.0. Así que, aunque ocurre una reacción fuerte de color en el papel de prueba o kit colorimétrico, la eficacia del desinfectante es mucho menor a un pH alto. Esto va siendo especialmente problemático con tiempos de contacto cortos. Reglas generales basadas en olor o indicaciones visuales son raramente predictores de la desinfección microbiana. Los sistemas de flujo continuo usados sin seguimiento pueden aplicar concentraciones de desinfectantes ilegales, innecesarias, o potencialmente dañino a la salud. Aun cuando el seguimiento se practique, frecuentemente no se mantienen registros de la capacidad potencial de la desinfección del agua.

### **Ventajas del potencial de oxidación-reducción**

El potencial de oxido-reducción (POR) ofrece muchas ventajas al seguimiento y registro periódico del potencial de desinfección, un parámetro crítico de la calidad del agua. Mejoras en el diseño de los sensores y el registro continuo analógico (tira de papel o carta circular) o ingreso de datos por computadora están disponibles. Los sensores han sido integrados a sistemas de alarma audibles, visuales o remotos para avisar el operador de una operación fuera del rango deseado. El POR es ideal para los sistemas de inyección automática y puede ser combinado con la inyección para el control del pH para optimizar la operación total del sistema. Equipo manual es costeable y esencial para verificar la operación del sensor en la línea de flujo.

Una ventaja primordial en la utilización del POR para el seguimiento de los sistemas de agua es que proporciona al operador una determinación rápida y de un solo valor del potencial de desinfección del agua en el sistema postcosecha. La investigación ha demostrado que un valor de POR de 650 a 700 mV resultan en la eliminación de bacterias de pudriciones y bacteria tales como *E. coli* y *Salmonella* en pocos segundos. Las levaduras causantes de pudriciones y el tipo más sensible de hongos que forma esporas también son eliminados a este nivel después de un tiempo de

contacto de pocos minutos.

### **Rangos del potencial de oxidación - reducción**

Las determinaciones detalladas de efectividad de valores de POR para microorganismos de interés para la calidad postcosecha, vida de anaquel y seguridad alimentaria no están todavía disponibles. Los estudios terminados hasta la fecha apoyan fuertemente el uso de 650 mV como el valor umbral mínimo para una actividad antibacteriana típica. Este valor de 650 mV es consistente con las normas que fueron desarrolladas y han sido utilizadas en Europa desde mediados de 1980 para formar calidad de agua potable municipal. Al mantener este valor POR proporciona una inactivación rápida de bacteria *Erwinia* y *Pseudomonas* causantes de pudriciones blandas igual que otros microorganismos que no forman esporas. Esporas de hongos mas resistentes y quistes parásitos requerirán valores de POR mayores o tiempos de contacto mayores.

### **Funcionamiento de potencial de oxidación – reducción**

Los medidores de POR miden voltajes muy pequeños generados cuando el sensor es colocado en agua en la presencia de un agente oxidativo. El electrodo esta hecho de platino u oro, lo cual transfiere reversiblemente sus electrones al agente oxidativo. Un voltaje es generado que es comparable al de un electrodo de plata en una solución de una sal de plata, similar a un electrodo de pH. Entre mayor es la cantidad de oxidante disponible, más grande será el voltaje comparativo generado ente los dos sensores.

## CONCLUSIÓN

- Las distintas técnicas de desinfección del agua tienen sus ventajas y desventajas, la tecnología de activación electroquímica engloba todos los tratamientos actuales del agua simultáneamente: contaminación microbiana, compuestos orgánicos indeseables y la dureza del agua.
- La activación electroquímica del agua es un avance tecnológico y sus ventajas están siendo reconocidas cada vez más. La demanda por esta tecnología crecerá exponencialmente no solo en los países en vías de desarrollo donde se necesita urgentemente pero también en los países desarrollados donde la calidad del agua se percibe como un tema de gran preocupación.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- José Roberto Guimarães, Jorge Ibáñez, Marta I. Litter y Ramón Pizarro  
“Desinfección del Agua” Edición especial-Feveireiro, 19-30. (2001
- 2.- Química María Luisa Castro , “Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo” ,Cepis , pág, 49-50 , Marzo-Junio 1992
- 3.- Lenntech, “Tratamiento y Purificación del agua-Desinfeccion “, edicion, 1998
4. Lenntech , “FAQ de la microbiología del agua ” ( febrero, 2006) ;
- 5.- “Estándares de calidad del agua potable”  
  
Estándares europeos de la calidad del agua potable. Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993
- 6.- CEPIS, “Principios básicos de la desinfección del agua”  
  
Tomado de: Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y El Caribe / OPS actualizado marzo del 2002
- 7.- Trevor Suslow,Ph.D , “ Potencial de Oxido Reducción en el monitoreo de desinfección del agua“, Departamento de Hortalizas Universidad de California, Davis, CA 95616, 20007

- 8.- Fred M. Reiff, Cepis, “ desinfección usando una mezcla de gases oxidantes generados in situ “ , Actualizado 20000
- 9.- Lenntech, , “ Desinfectantes Hipoclorito de sodio “, 1998
- 10.- “Biocidas”  
<http://www.lenntech.es/biocidas.htm> . 1998
- 11.- OPS/CEPIS , “ Propiedades del ozono como desinfectante “ ,. Documento OPS/OMS, Serie Técnica N.º 30 ( 1995). ... Referencia adicional: International Ozone Association: [www.int-ozone-assoc.org](http://www.int-ozone-assoc.org). capitulo 6 pag 69- 79
- 12.- Lenntech, , “ Ionización *cobre-plata* en torres de enfriamiento. “ , 1998
- 13.- Elio Pietrobon Tarrán , Director General de Tech Filter (Indaiatuba, São Paulo, Brasil), empresa miembro de la Water Quality Association  
“Desinfección por Luz Ultravioleta”
- 14.- CEPIS, “ Radiación Ultravioleta “. capitulo 4 , pág 95
- 15.- José Juan Rodríguez Jerez, “La radiación Ultravioleta como descontaminante de alimentos” , 21 abril 2004
16. Laura Salazar Martín, Pablo González Beltrán , “ Fotocatálisis solar para descontaminación de aguas“ Escuela internacional de ingeniería del agua de andalucía
- 17.- Gustavo Adolfo Chaves, Iván Darío Medina Rojas  
“Producción de agua Electrolizada para la eliminación de microorganismos en lechuga”  
Universitas scientiarum, enero-junio , año /vol. 9, número especial 2  
pontificia universidad javeriana Bogotá. Colombia pp. 91-100