

**ALTERNATIVAS DE DESINFECCION EL AGUA PARA EL SIGLO XXI SIN  
CLORO**

**SANDRA CAROLINA NOSSA FUENTES**

**47441470**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**2016**

**ALTERNATIVAS DE DESINFECCION EL AGUA PARA EL SIGLO XXI SIN  
CLORO**

**SANDRA CAROLINA NOSSA FUENTES**

**47441470**

**TRABAJO DE GRADO (MONOGRAFÍA)**

**DIRECTOR:**

**JULIO ISAAC MALDONADO**

**INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**2016**

Ciudad, día 31 mes Enero año 2017

Señores

Oficina de Recursos Bibliográficos

Universidad de Pamplona

Pamplona

Norte de Santander

Lo(s) suscrito(s):

Sandra Carolina Nossa Fuentes \_\_\_\_\_, con C.C. N° 47.441.470 \_\_\_\_\_

En mí (nuestra) calidad de autor (es) exclusivo (s) de la obra titulada: **“ALTERNATIVAS DE DESINFECCION DEL AGUA PARA EL SIGLO XXI SIN CLORO”**

en la modalidad de: (por favor señale con una “x” las opciones que apliquen)

Tesis doctoral	<input type="checkbox"/>	Trabajo de grado	<input checked="" type="checkbox"/>	Premio o distinción	<input type="checkbox"/>
Otra	<input type="checkbox"/>				

¿Cuál? \_\_\_\_\_  
presentado y aprobado en el año \_\_\_\_2016\_\_\_\_, por medio del presente escrito autorizo a la Universidad de Pamplona para que, en desarrollo de la presente Licencia de Uso, pueda ejercer sobre mi obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

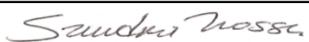
En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Pamplona y a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga un convenio vigente, son:

Autorizo		Si	No
1	La conservación del Trabajo o la Tesis de Grado en las instalaciones de la Biblioteca José Rafael Faría Bermúdez y sus Unidades Bibliográficas.	X	
2	La consulta electrónica en el campus, a través del catálogo en línea	X	

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que el trabajo de grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) del mismo. No contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos del trabajo de grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Pamplona por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de la licencia, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva a la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Pamplona está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

Nombre completo	N° documento de identidad	Firma
SANDRA CAROLINA NOSSA FUENTES	47441470	



Acta de Sustentación de Trabajo de Grado-Pregrado

Código FGA-72 v.06
Página 1 de 1

PROGRAMA: INGENIERIA AMBIENTAL

MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO

- Investigación Recital de Grado, Pasantía de Investigación Diplomado, Docencia Práctica Integral, Práctica Empresarial Articulación Posgrado

EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR: (Nombres, apellidos y documento de identidad).

JURADO 1: JAROL DERLEY RAMON VALENCIA / C.C: 88.032.391 de Pamplona
JURADO 2: ORLANDO VIRGILIO GARCÍA MARTINEZ / C.C: 13.457.416 de Cúcuta
JURADO 3: / C.C:

EN SU SESIÓN EFECTUADA EN: La ciudad de Pamplona -Colombia - Facultad de Ingenierías y Arquitectura - Aula TIC -
A LAS 8:00 AM HORAS, DEL DÍA 03 DEL MES Diciembre DEL AÑO 2016

Terminadas sus deliberaciones, y en cumplimiento de las normas y acuerdos de los órganos de dirección de la Universidad de Pamplona, se ha llegado a la siguiente conclusión:

Primera Conclusión: Otorgar la Calificación de: 3.8 (en números)

- Meritorio (>=4.51), Excelente (>=4, <=4.49), Aprobado (>=3, <=3.99), Incompleto (<=2.99)

AL TRABAJO DE GRADO TITULADO: LA DESINFECCION MASIVA Y EFECTIVA PARA EL SIGLO XXI SIN CLORO - MONOGRAFIA.

AUTOR(ES): Número de Autores ( 01 )

Table with 3 rows for author names and COD numbers. Name: SANDRA CAROLINA NOSSA FUENTES, COD: 47.441.470

DIRECTOR Y/O TUTOR: JULIO ISAAC MALDONADO MALDONADO / C.C: 13.256.627 de Cúcuta

Segunda Conclusión: Emitir los siguientes criterios

Table with 3 columns: No., DESCRIPCIÓN, RECOMENDAR (SI, NO). Rows describe criteria for recommendation.

Otras:

Tercera Conclusión: Avalar el cumplimiento del Trabajo de Grado, para optar por el Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Firmas del Jurado Calificador:

Handwritten signatures of Jurado 1, Jurado 2, Jurado 3, Director Comité Trabajo de Grado, and Director Unidad Académica.

Nota: Diligenciar debidamente todos los espacios requeridos en el formato

## DEDICATORIA

A Dios porque siempre me lleva de su mano, me guía en momentos difíciles y me permitió culminar esta etapa de mi vida con éxito.

A mi madre TILCIA de quien he recibido infinito amor, pilar de mi vida, mi fuente de inspiración y motivación, quien con su paciencia, esfuerzo y dedicación me guio día a día en este arduo camino, y con su ejemplo me enseñó a luchar por lo que se quiere y salir adelante ante las adversidades.

A mi padre MANUEL quien siempre estuvo a mi lado y lleno de esperanza aguardo este momento, porque con sus valiosos consejos me enseñó que con amor todo es posible.

A mi hermana DIANA por su comprensión, amor y apoyo incondicional en este largo trayecto, por celebrar mis triunfos y acompañarme en mis fracasos.

A mi hermano JUAN MANUEL por su apoyo y comprensión en momentos difíciles.

A mi amiga ANGELA, mi compañera incondicional, quien me enseñó que todo obstáculo es superable si se tiene la voluntad de hacerlo posible.

Si ellos no hubiese tenido la motivación necesaria para llegar a la meta...

Infinitas Gracias...

**¡¡¡QUERER ES PODER!!!**

## RESUMEN

El objetivo de esta monografía es recopilar la información referente a las ALTERNATIVAS DE DESINFECCION EL AGUA PARA EL SIGLO XXI SIN CLORO utilizadas en la potabilización de agua, analizado las diferentes técnicas de desinfección y posibles alternativas para optimizar el proceso. La temática surge debido a que el incremento de la contaminación en el agua ha llevado de desarrollar nuevas alternativas para la desinfección y así garantizar y minimizar posibles riesgos sanitarios, medioambientales y en la salud, aplicando un tratamiento óptimo que permita adecuar la calidad del agua. En Colombia la norma que regula los parámetros máximos permisibles en el agua potable son el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 y la Resolución 2115 del 2007 y el decreto 1076 del 2015

Dada esta problemática y los altos costos en los procesos surge la necesidad de aplicar distintos sistemas de desinfección lo cual es objeto de estudio en esta monografía. Existen varios métodos tradicionales de desinfección y otros de relativa nueva aplicación. Algunos de los factores que influyen en la selección de un método o tecnología de desinfección para agua potable son costo, consumo de energía, calidad del agua a tratar, entre otros. La desinfección puede hacerse por métodos químicos, físicos, físico químicos, electrofónicos.

En esta monografía se analiza la efectividad que pueden alcanzar los diferentes procesos de desinfección encargados de la eliminación de microorganismos patógenos perjudiciales para el ser humano que no fueron removidos en los procesos iniciales de la potabilización como son: Coliformes totales, E. coli, enterococos entre otros. Para evitar la proliferación de estos microorganismos es necesario y primordial tener una excelente desinfección.

**PALABRAS CLAVE:** POTABILIZACION, DESINFECCION, MICROORGANISMOS, PATOGENOS, TECNOLOGIAS, TRATAMIENTOS.

## SUMMARY

The objective of this monograph is to compile the information regarding the WATER DISINFECTION ALTERNATIVES FOR THE 21st CENTURY WITHOUT CHLORINE used in the water purification, analyzing the different disinfection techniques and possible alternatives to optimize the process. The issue arises because the increase in water pollution has led to develop new alternatives for disinfection and thus ensure and minimize potential health, environmental and health risks, applying optimum treatment to adjust water quality. In Colombia the rule governing the maximum permissible parameters in drinking water are the Technical Regulations Sector Water and Sanitation Basic RAS 2000 and Resolution 2115 of 2007.

Given these problems and high costs in the process arises the need for different systems of disinfection which is studied in this paper. There are several traditional methods of disinfection and other relatively new application. Some of the factors influencing the selection of a method or technology for drinking water disinfection are cost, power consumption, and quality of water to be treated, among others. Disinfection can be done by chemical, physical, physico-chemical, electrophonic methods.

In this paper the effectiveness that can reach different disinfection processes responsible for the elimination of harmful pathogens to humans that were not removed in the initial processes of purification as are discussed: Total Coliforms, E. coli, enterococci between others. To prevent the proliferation of these microorganisms is necessary and essential to have excellent disinfection.

**KEYWORDS:** PURIFICATION, DISINFECTION, MICROORGANISMS, PATHOGENS, TECHNOLOGIES, TREATMENTS.

## TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria .....	6
Resumen .....	7
Summary .....	8
1. Introducción .....	14
1.1. Antecedentes.....	15
2. Desinfección en el agua.....	18
2.1. Desinfección del agua. ....	18
2.2. Como funciona. ....	18
2.3. Importancia de la desinfección del agua. ....	22
2.4. Factores que influyen en la desinfección del agua. ....	25
2.5. Microorganismos presentes en el agua.....	29
2.5.1. Bacterias.....	30
2.5.2. Virus. ....	31
2.5.3. Parásitos protozoos.....	32
2.6. Marco legal. ....	33
3. Métodos de desinfección .....	36
3.1. Desinfección química. ....	36
3.1.1. Desinfección de agua potable con ozono.....	36
3.1.1.1. Características físico químicas del ozono. ....	36
3.1.1.2. Ventajas y desventajas. ....	37
3.1.1.3. Mecanismo de acción del ozono sobre microorganismos. ....	38
3.1.1.4. Dosificación de ozono para la desinfección de agua potable. ....	41
3.1.1.5. Generalidades.....	42
3.1.2. Desinfección de agua potable con bromo. ....	43
3.1.2.1. Características físico químicas del bromo.....	43
3.1.2.2. Ventajas y desventajas .....	44
3.1.2.3. Mecanismo de acción del bromo sobre microorganismos.....	44
3.1.2.4. Generalidades.....	44
3.1.3. Desinfección de agua potable con yodo.....	45

3.1.3.1.	Características del yodo .....	46
3.1.3.2.	Mecanismo de acción del yodo sobre microorganismos. ....	46
3.1.3.3.	Ventajas y desventajas .....	47
3.1.3.4.	Dosificación del yodo como desinfectante en agua potable. ....	47
3.1.3.5.	Generalidades .....	47
3.1.4.	Desinfección de agua potable con plata ionizada. ....	48
3.1.4.1.	Características físico químicas.....	49
3.1.4.2.	Ventajas y desventajas .....	49
3.1.4.3.	Mecanismo de acción.....	49
3.1.4.4.	Generalidades.....	50
3.1.5.	Desinfección de agua potable con metodos sinergicos.....	51
3.1.5.1.	Generalidades.....	52
3.2.	Desinfeccion fisica.....	54
3.2.1.	Desinfección ultravioleta. ....	54
3.2.1.1.	Características de luz ultravioleta.....	54
3.2.1.2.	Ventajas y desventajas. ....	55
3.2.1.3.	Mecanismo de acción de uv .....	56
3.2.1.4.	Dosificación de radiación uv.....	58
3.2.1.5.	Generalidades .....	60
3.2.2.	Desinfeccion con radiacion solar.....	61
3.2.2.1.	Mecanismo de acción de la desinfección solar. ....	62
3.2.2.2.	Ventajas y desventajas. ....	63
3.2.2.3.	Microorganismos patógenos que elimina el método sodis. ....	64
3.2.3.	Tecnologías de oxidación avanzada para eliminación y degradación de contaminantes.....	65
3.2.3.1.	Ventajas y desventajas .....	66
3.2.4.	Filtración lenta.....	67
3.2.4.1.	Ventajas y desventajas .....	68
3.2.4.2.	Generalidades .....	69
3.2.5.	Desinfección minifiltración.....	69
3.2.5.1.	Mecanismo de la desinfección con minifiltración.....	70

3.2.5.2.	Ventajas y desventajas .....	70
3.2.5.3.	Generalidades.....	71
4.	Conclusiones .....	73
5.	Referencias.....	75

## **TABLA DE IMÁGENES**

Imagen 1.	Representación grafica de la Ley de Chick.....	21
Imagen 2.	Requerimientos de SWTR para remoción inactivación de Giardia y Virus en los sistemas de tratamiento.....	24
Imagen 3.	Tasas mundiales de morbilidad y mortalidad de las enfermedades relacionadas con el agua .....	25
Imagen 4.	Coeficientes de Baffle.....	26
Imagen 5.	Comparación entre los vectores CT para la in activación del 99% de los microorganismos a 5°C.....	27
Imagen 6.	Protozoos .....	32
Imagen 7.	Parámetros según calidad de la fuente .....	35
Imagen 8.	Criterios de calidad admisibles para consumo humano. ....	35
Imagen 9.	Formación de la molécula de ozono.....	37
Imagen 10.	Microorganismos que elimina el ozono .....	40
Imagen 11.	Equipo Productor de ozono de última generación de una estación potabilizadora de tamaño medio. ....	42
Imagen 12.	Partes que forman un generador de ozono. ....	43
Imagen 13.	Equipos utilizados para la desinfección con bromo .....	45

Imagen 14. Equipos utilizados para la desinfección con yodo. ....	48
Imagen 15. Equipos utilizados para dosificación de plata ionizada. ....	51
Imagen 16. Trenes de desinfección. ....	53
Imagen 17. Identificación de la radiación UV como parte del espectro electromagnético. ....	55
Imagen 18. Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos del agua ....	59
Imagen 19. Equipos empleados en la desinfección con UV. ....	61
Imagen 20. Resistencia térmica de microorganismos. ....	65
Imagen 21. Tecnologías avanzadas de oxidación TAO <sub>s</sub> . ....	67
Imagen 22. Características de la minifiltración Métodos y diámetros del poro que retienen microorganismo. ....	70

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Microorganismos presentes en el agua. ....	29
Tabla 2. Enfermedades originadas por bacterias. ....	30
Tabla 3. Algunas enfermedades originadas por virus. ....	31
Tabla 4. Enfermedades originadas por protozoos. ....	33
Tabla 5. Relación de normas legales vigentes a tener en cuenta en la desinfección del agua. ....	33
Tabla 6. Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura. ....	37

Tabla 7. Ventajas y desventajas del ozono en la desinfección de agua potable ...	37
Tabla 8. Factor de CT requerido para desinfectar con ozono a distintas temperaturas. ....	41
Tabla 9. Aspectos generales de la desinfección con ozono. ....	42
Tabla 10. Aspectos generales de la desinfección con Bromo. ....	45
Tabla 11. Aspectos generales de la desinfección con Yodo. ....	48
Tabla 12. Aspectos generales de la desinfección con plata ionizada.....	50
Tabla 13. Generalidades de la desinfección con métodos sinérgicos .....	53
Tabla 14. Microorganismos removidos por UV.....	57
Tabla 15. Aspectos generales de la desinfección con UV.....	61
Tabla 16. Aspectos generales de la desinfección con filtración lenta.....	69
Tabla 17. Generalidades de la desinfección con minifiltración. ....	71

## 1. INTRODUCCION

El agua es primordial para el ser humano, de allí la importancia de consumirla libre de microorganismos patógenos perjudiciales para la salud, puesto que este recurso es uno de los principales vehículos de bacterias, virus, material orgánico entre otros responsables de diversas enfermedades. Una parte de la población mundial no cuenta con sistemas de desinfección en sus aguas y esto ha generado enfermedades en la población y en algunos casos la muerte, debido a que las personas la consumen sin ningún tipo de tratamiento.

La mayoría de microorganismo patógenos se pueden eliminar en los diferentes procesos de potabilización como son la floculación- coagulación, sedimentación y filtración. La desinfección es la etapa final del tratamiento y es la encargada de la eliminación de microorganismos los cuales no fueron removidos en los procesos anteriores garantizando calidad en el consumo del agua.

La desinfección se logra mediante desinfectantes químicos y/o físicos, los cuales extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes para los microorganismos. Una de las funciones principales de los desinfectantes no solo es 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. (Lenntech. 1993)

En la actualidad existen diversos desinfectantes que eliminan microorganismos patógenos como son el Cloro y sus derivados, peróxidos, bromo, plata- cobre, ozono UV entre otros. Cada sistema de tratamiento cuenta con una serie de ventajas y desventajas y su aplicación depende del entorno, la disponibilidad del desinfectante, el costo y otras circunstancias particulares.

A principios de los setenta se descubrió que los métodos de desinfección pueden generar subproductos indeseados, desde entonces se realizan investigaciones acerca de los efectos sobre la salud. En la actualidad existen parámetros legales

sobre las concentraciones máximas y mínimas de estos subproductos en el agua potable.

### **1..1. ANTECEDENTES**

La desinfección al agua se ha venido practicando por muchos años debido a la presencia de microorganismos patógenos. Por mucho tiempo se han investigado alternativas más económicas y efectivas para desinfectar el agua para consumo humano garantizando calidad al consumidor. Existen zonas rurales las cuales carecen de recursos sanitarios y energéticos y resultan ser los más afectados al consumir el agua contaminada. Dentro del proceso de potabilización, la desinfección es lo más importante ya que elimina microorganismos patógenos los cuales no fueron removidos en los procesos anteriores y la generación de agua microbiológicamente segura depende en gran parte a él.

Uno de los primeros tratamientos implementados para tratar de evitar las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua fue la sedimentación y filtración, que disminuyen la carga microbiana pero no garantizan la desinfección total. (Lenntch 1993)

Los griegos fueron los primeros en mostrar interés en la calidad del agua utilizando embalses de aireación para la purificación del agua. (Lenntch 1993)

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua. El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas. (Lenntch 1993)

En 1894 Jonh Gibb construyo el primer sistema de suministro de agua potable para la ciudad de Paisley Escocia. (Lenntch 1993)

En 1806 Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas. (Lenntch 1993)

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública. (Lenntch 1993)

En el siglo 19 se descubrieron los efectos de los desinfectantes en el agua para el tratamiento y desinfección de la misma. Desde 1900 los desinfectantes se utilizan extensamente por las compañías del agua para evitar la expansión de enfermedades y mejor la calidad del agua.”. (Lenntch 1993)

“En 1850 John Snow después de un ataque de cólera, implementó un sistema de desinfección por cloro para una fuente de abastecimiento para la ciudad de Londres. (Lenntch 1993)

En 1897 Sims Woodhead con los antecedentes de Snow y tratando de dar alivio a una epidemia de tifoidea en Kent Inglaterra, también empleó cloro líquido para aliviar los estragos de la enfermedad. Los éxitos de estas experiencias hicieron que en Inglaterra se empleara la cloración como una medida preventiva de contaminación microbiológica del agua y posteriormente en 1908 en New Jersey en Estados Unidos se implementó la cloración como un proceso de tratamiento en la potabilización del agua, y se hizo evidente la disminución de incidencia de enfermedades infecciosas en los consumidores. En años posteriores se generalizó la desinfección del agua con cloro y sus derivados en todo el país y finalmente en todo el mundo”. (Rocha 2010)

Existen muchos métodos de desinfección, pero la selección de uno de ellos influye en diferentes factores como son el alto costo, el consumo energético, la calidad del agua a tratar entre otros.

Por muchos años se ha utilizado cloro para la desinfección del agua para uso y consumo humano, disminuyendo y eliminando microorganismos causantes de

enfermedades gastrointestinales, hepatitis, salmonella, entre otras. Sin embargo en años más recientes se ha demostrado que la cloración puede resultar ineficiente para controlar la ocurrencia de algunos patógenos en el agua tales como *Giardia Lamblia* y *Cyptosporidium*. Algunos estudios han demostrado que la aplicación seriada de dos procesos de desinfección química (ozono y cloro) puede resultar muy eficiente para inactivar C. Parvum y G. Lamblia. Se ha encontrado que una exposición limitada de estos patógenos a un oxidante fuerte como el ozono puede sensibilizarlos de manera importante a la acción germicida del cloro, de tal manera que la dosis de cloración puede minimizarse considerablemente. La desinfección con cloro es uno de los métodos más utilizados en la potabilización de la agua, pero en los últimos años se ha experimentado con diversos métodos entre ellos la desinfección solar o SODIS el cual es un tratamiento efectivo para el consumo de agua contaminada con bacterias y virus patógenos, pero a la fecha existen muy pocos estudios para inactivar C. Parvum, *Giardia lamblia* u otros patógenos protozoarios importantes. (Delgado, Lourdes, 2006).

Cepis 2002 expone que a mediados del siglo XIX, aún antes de que se demostrara la teoría microbiana, se había determinado que la transmisión de las enfermedades entéricas estaba vinculada al agua contaminada, en particular el cólera y la tifoidea, lo que instó a las autoridades de salud pública, basadas en la experiencia y la intuición, a introducir medidas y reglamentos, como la ley promulgada en Londres en 1852 exigiendo que se filtrara toda el agua (del abastecimiento público). Con la acumulación de las pruebas de que las enfermedades anotadas se transmitían por medio de microorganismos, el tratamiento del agua adquirió impulso, y la filtración y desinfección se convirtieron en una práctica normal de salud pública.

Otros métodos de desinfección que han experimentados y algunos han tenido gran éxito son la desinfección con yodo y sus derivados, bromo y sus derivados, peróxido de hidrogeno, sales metálicas, ácidos y álcalis, ozono, radiación ultravioleta y calor.

## **2. DESINFECCION EN EL AGUA**

### **2.1. Desinfección del agua.**

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo. La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración. (Vargas, Lidia 2004)

Para diferenciar claramente los conceptos referidos a la destrucción de organismos patógenos del agua, es necesario distinguir los siguientes términos:

- a. Agente esterilizante: es aquel capaz de destruir completamente todos los organismos (patógenos o no).
- b. Desinfectante: es el agente que inactiva los gérmenes patógenos.
- c. Bactericida: agente capaz de inactivar las bacterias.
- d. Cisticida: agente que tiene la capacidad de inactivar los quistes.

### **2.2. Como funciona.**

Teóricamente, la acción desinfectante de las sustancias químicas se realiza en dos etapas:

- I. La penetración de la pared celular.
- II. La reacción con las enzimas, inhibiendo el metabolismo de la glucosa y, por tanto, provocando la muerte del organismo. (Vargas, Lidia 2004).

El sistema enzimático de las bacterias interviene en el metabolismo celular. Se considera que la principal forma de acción de los desinfectantes es la destrucción o inactivación de las enzimas. Las enzimas son producidas en el interior de las células y son protegidas por las membranas celulares. En el caso de los

desinfectantes químicos, se consideran muy importantes las siguientes características:

- A. La capacidad de penetración del desinfectante a través de las membranas celulares.
- B. La producción de reacciones con las enzimas de la célula de manera de producir un daño irreversible en su sistema enzimático.

Los halógenos y especialmente el cloro cumplen con estas características. (Vargas, Lidia 2004).

Mediante desinfectantes químicos los cuales se aplican en el proceso final de la potabilización, se inactivan los diversos microorganismos patógenos presentes en el agua. La remoción de estos agentes patógenos es necesaria para cumplir con los estándares de calidad exigidos en la normativa. Para la optimización de este proceso, una planta de tratamiento convencional cuenta con diversas etapas como son la floculación, sedimentación y filtración lo cual facilita el proceso final como lo es la desinfección.

Como medida adicional en muchas plantas de tratamiento utilizan un método secundario de desinfección del agua, para evitar y proteger las aguas de la contaminación biológica que se pudiera producir en la red de distribución. Normalmente se utilizan un tipo de desinfectante diferente al que se utilizó en el proceso de purificación durante etapas previas.

El tratamiento secundario de desinfección asegura que las bacterias no se multiplican en el sistema de distribución del agua. Esto es necesario porque las bacterias pueden permanecer en el sistema y en el agua a pesar de un tratamiento primario de desinfección, o pueden aparecer posteriormente durante procesos de retro lavado o por mezcla de aguas contaminadas (ej. por inclusión de bacterias en las procedentes de aguas subterráneas que se introducen debido a grietas en el sistema de tuberías o distribución). La desinfección normalmente provoca la corrosión de la pared celular de los microorganismos, o cambios en la permeabilidad de la célula, cambios en la actividad de protoplasma celular o

actividad enzimática (debido al cambio estructural de las enzimas). Estos problemas en la célula evitan la multiplicación de los microorganismos. Los desinfectantes también provocan la oxidación y destrucción de la materia orgánica que son generalmente nutrientes y fuente de alimentación de los microorganismos. (Lenntech 1993).

### **Cinética de la desinfección: La ley de Chick.**

La desinfección del agua no es un proceso instantáneo, ya que se realiza a una cierta velocidad, la misma que está determinada por tres factores:

- I. El tiempo de contacto.
- II. La concentración del desinfectante.
- III. La temperatura del agua.

Cuando los microorganismos son expuestos bajo condiciones ideales a la acción de un desinfectante, la tasa de destrucción sigue la ley de Chick como lo ilustra la imagen 1.

Esta ley señala que el número de microorganismos destruidos por unidad de tiempo es proporcional al número de microorganismos remanentes.

Esto se explica de la forma siguiente:

$$-\frac{dn}{dt} = kn \quad \text{EC 1.}$$

Donde:

n = número de microorganismos por litro

t = tiempo en minutos

k = constante de velocidad

Integrando la ecuación anterior desde t = 0 a t = t y desde n = n<sub>0</sub> a n = n<sub>t</sub> :

$$\ln \frac{n_t}{n_0} = -kt \quad \text{ó} \quad \frac{n_0}{n_t} = e^{kt} = R \quad \text{EC 2.}$$

Donde:

$n_0$  = número de microorganismos por litro a  $t = 0$

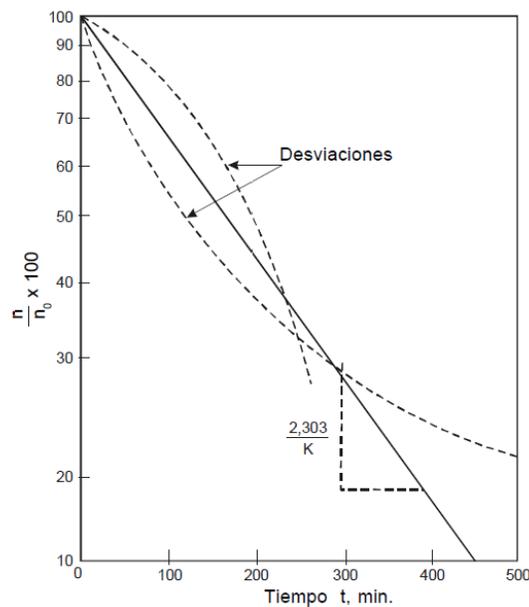
$n_t$  = número de microorganismos por litro a  $t = t$

$R$  = factor de reducción

El valor de  $t$  será:

$$t = \frac{-2.303}{k} \text{Lg} \frac{n_0}{n_t} \quad \text{EC 3}$$

**Imagen 1. Representación grafica de la Ley de Chick.**



**Fuente. Vargas, Lidia 2004.**

En general, los virus son más resistentes a los desinfectantes que las bacterias, tal como se nota en la constante de velocidad, por ejemplo, del HOCl para E. coli y para el virus de la poliomielitis. En la práctica, no siempre la desinfección obedece a una reacción de primer orden. Por ello se presentan desviaciones de la ley de

Chick. Por ejemplo, la eliminación de *Entamoeba histolytica* con cloro libre o yodo corresponde a una reacción donde se podría aplicar dicha ley; en cambio, algunos virus no siguen este comportamiento. Por ello, es necesario realizar la elaboración de las gráficas correspondientes, en la práctica, y determinar la desviación en cada caso específico. La ley de Chick puede tomarse como referencia para conocer el comportamiento de un determinado proceso de desinfección. Conociendo el número de microorganismos y la cantidad de ellos en un determinado tiempo ( $n/n_0$ ), se puede determinar el valor de  $k$ ; es decir, la velocidad de reacción con el desinfectante. (Vargas, Lidia 2004).

### **2.3. Importancia de la desinfección del agua.**

Dada su importancia, la desinfección no puede ser intermitente. En tal sentido, el aprovisionamiento continuo del desinfectante es un requisito fundamental que deberá ser tomado en cuenta al momento de seleccionar el mecanismo de desinfección. (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

Cepis 2002 indica que actualmente la desinfección del agua destinada al consumo humano se puede definir como un proceso de destrucción o inactivación de agentes patógenos y otros microorganismos indeseables. Esta agua destinada al consumo no debe contener microorganismos nocivos y las concentraciones de sustancias químicas o de otro tipo deben estar bajo los niveles que pueden presentar riesgos para la salud. Desde el punto de vista biológico, estos requisitos implican la eliminación o destrucción de bacterias entéricas, virus, quistes de protozoos y esporas bacterianas que puedan causar infección o enfermedad. De igual manera el agua debe estar libre de olor, color, turbiedad y sabor.

Los procesos de tratamiento pueden reducir la concentración de los contaminantes biológicos a través de dos mecanismos:

- A. Mecanismos de remoción: remover el contaminante biológico por medios físicos tales como coagulación, floculación, sedimentación o flotación y filtración.
- B. Mecanismos de inactivación: volver inactivo el contaminante a través de la acción de los desinfectantes físicos o químicos. El término inactivación es sinónimo de desinfección, y debe distinguirse de esterilización, que es la destrucción de toda sustancia viva.

En una planta potabilizadora convencional los procesos de remoción e inactivación son complementarios, y la efectividad de cada uno depende fuertemente del tipo de tratamiento utilizado, y del agente biológico que se pretende eliminar. En particular para inactivar protozoarios se necesitan altas concentraciones de desinfectante y prolongados tiempos de contacto, por lo tanto para estos patógenos se requiere que los procesos de remoción sean eficientes. En cambio las bacterias y virus pueden ser inactivados con mayor facilidad. La remoción o inactivación de un contaminante se define como:

$$\% (R/I) = \left( \frac{N_0 - N}{N_0} \right) * 100 \quad \text{EC 4.}$$

R/I : Remoción y/o inactivación de microorganismos.

$N_0$  : Concentración inicial de microorganismos

N: Concentración final de microorganismos

La efectividad de los procesos de remoción y/o inactivación se puede evaluar a través de la cantidad x-log removida y/o inactivada, donde x es un número decimal positivo. (Ríos, Danilo. 2006)

$$\text{Log}(R/I) = \text{Log}\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

$$\text{Log}(R/I) = \text{Log}\left(\frac{100}{100 - \% (R/I)}\right)$$

$$\% (R/I) = \left(1 - \frac{1}{10^{\text{log}(R/I)}}\right) * 100 \quad \text{EC 5.}$$

A través de estudios de riesgos, la EPA elaboró la siguiente tabla (imagen 2) que establece las necesidades de remoción/inactivación en función de la concentración del contaminante microbiológico en el agua bruta. Los únicos valores de la tabla que son requerimientos de la reglamentación SWTR, son los correspondientes a un máximo de 1 quiste/100 ml en el agua bruta (fila 1), mientras que los otros valores son consultivos.

**Imagen 2. Requerimientos de SWTR para remoción/inactivación de Giardia y Virus en los sistemas de tratamiento**

Promedio diario (quistes/100 ml) en el agua bruta	Quistes de Giardia Remoción/inactivación	Virus Remoción/inactivación
<1	3-log	4-log
> 1 - 10	4-log	5-log
> 10 - 100	5-log	6-log

**Fuente Environmental protection agency 1989.**

De acuerdo con el criterio establecido por la reglamentación SWTR, el sistema de tratamiento debe remover/inactivar 3-log de quistes de Giardia y 4-log de virus. Mastache Víctor 2010, indica en su tesis profesional que el agua es también un importante vehículo de transmisión de muchas enfermedades que han afectado a los seres humanos durante siglos como se muestra en la imagen 3. La calidad del agua y la salud humana se consideran esenciales en la prevención de este tipo de enfermedades y en el mejoramiento de la calidad de vida. Así la remoción e inactivación de agentes patógenos microbianos en el agua potable esencial para proteger la salud pública.

**Imagen 3. Tasas mundiales de morbilidad y mortalidad de las enfermedades relacionadas con el agua**

Enfermedad	Número / Año	
	Casos de Enfermedades	Defunciones
Cólera	297,000	4,971
Fiebre tifoidea	500,000	25,000
Giardiasis	500,000	bajo
Amibiasis	48,000,000	110,000
Enfermedades diarreica (niños < 5 años)	1,600,000,000	3,200,000
Dracontiasis (gusano de Guinea)	2,600,000	--
Esquitosomiasis	200,000,000	200,000

**Fuente. Masteche Víctor 2010**

#### 2.4. Factores que influyen en la desinfección del agua.

Se tiene en cuenta varios factores que influyen en este proceso como son el tiempo de contacto, la concentración del desinfectante, las características físicas y químicas de agua, turbidez, pH y la temperatura.

- El tiempo de contacto que tiene el desinfectante con los microorganismos es primordial en el proceso, de igual manera la concentración del mismo dependiendo de la calidad de agua a tratar. La inactivación de microorganismos se ve afectada por la concentración del desinfectante (C), y el tiempo de contacto de este con el agua (T). En consecuencia el producto C\*T es un parámetro fundamental para evaluar la eficiencia de la desinfección (EPA, Agosto 1999). Dado que los cortocircuitos son comunes en los sistemas de tratamiento, para las reglamentaciones se utiliza el término T<sub>10</sub> como tiempo de contacto. T<sub>10</sub> es definido como el tiempo en que el 90% del agua que ingresa a determinada unidad está todavía retenida en la misma, o lo que es lo mismo el tiempo en que el 10% del agua abandonó la unidad (EPA, Agosto 1999). En otros términos, T<sub>10</sub> es el tiempo que demora en abandonar la unidad el 10% del volumen de agua que ingresó en ese tiempo.

$$C*T \text{ (mg/l*min)} = \text{Desinfectante residual (mg/l)} * T_{10} \text{ (min).}$$

En general, se observa que:

Cuanto mayor es la concentración de desinfectante activo, menor es el tiempo que se necesita para inactivar o destruir los microorganismos. A mayor temperatura, mayor es la eficacia de los desinfectantes químicos, y viceversa. Por el contrario, la temperatura prácticamente no afecta la eficiencia desinfectante de la luz ultravioleta. Cuanto mayor es el tiempo de contacto entre los organismos y el desinfectante, mayor es la posibilidad de interacción y, por lo tanto, mayor es el número de organismos muertos o inactivados. Según (EPA, Agosto 1999), el tiempo de contacto ( $T_{10}$ ) se puede determinar basado en:

$$T = V/Q \text{ (Tiempo de retención medio de la unidad)}$$

$$T_{10} = V/Q * T_{10}/T$$

$T_{10}/T$  es el «factor de baffle»

Los coeficientes de Baffle están estipulados en la imagen 4, en la cual se indica la condición del Baffle.

Cuando se añade un desinfectante al agua, no solo reacciona con microorganismos patógenos, sino también con otras sustancias presentes en el agua, como impurezas, metales solubles, partículas, materia orgánica y otros microorganismos. Por tanto la concentración del desinfectante depende de la calidad de agua a tratar. (Lenntech 1993).

**Imagen 4. Coeficientes de Baffle**

CONDICION DE BAFFLE	$T_{10}/T$	DESCRIPCIÓN
Flujo « mezclado »	0,1	Baja relación largo/ancho, depósito sin baffles y agitado. Velocidades altas de entrada y salida
Pobre	0,3	Entrada y salida con baffles, sin baffles interiores
Promedio	0,5	Entrada y salida con baffles, con algún baffle interior
Buena	0,7	Entrada con "pantalla difusora" y salida mediante vertederos
Perfecta (flujo pistón)	1,0	Flujo en tuberías

**Fuente: AWWA, 1991, en EPA, Agosto 1999**

Existen diferencias sobre la afectividad relativa de ciertos desinfectantes químicos en función del tipo de microorganismo. El tiempo de contacto CT se puede utilizar para comparar la afectividad de varios desinfectantes para ciertos microorganismos. De acuerdo con la imagen 5, el ozono es el agente más efectivo

ya que tienen un valor de CT más bajo. En el lado contrario, las cloraminas son las menos efectivas y, por ejemplo, no matan ciertos organismos como Giardia Lambia. El cloro es efectivo en el caso de E.coli y virus del polio y el tiempo de CT del cloro para Giardia Lambia es mucho mayor que el requerido para la bacteria E.Coli y virus del polio. (Lenntech 1993).

**Imagen 5. Comparación entre los vectores CT para la inactivación del 99% de los microorganismos a 5°C.**

Organismo	Cloro libre (pH 6-7)	Cloraminas (pH 8-9)	Dióxido de cloro (pH 6-7)	Ozono (pH 6-7)
<i>Bacteria E. coli</i>	0,034 - 0,05	95 - 180	0,4 - 0,75	0,02
<i>Polio virus</i>	1,1 - 2,5	770 - 3740	0,2 - 6,7	0,1 - 0,2
<i>Giardia lambia quiste</i>	47 - 150	-	-	0,5 - 0,6

**Fuente. (Lenntech 1993).**

Los desinfectantes pueden eliminar de manera efectiva muchos microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos, aunque algunos de ellos son resistentes al proceso. La bacteria E. Coli es la más resistente y por ello esta es catalogada como un microorganismo indicador. Otros parásitos como Cryptosporidium y Giardia son resistentes a algunos desinfectantes. Se debe tener en cuenta que los microorganismos tienen un tiempo de vida y que algunos se eliminan más fáciles que otros debido a que “desarrollan capas protectoras de polisacáridos en la pared celular que las hace más resistentes a los desinfectantes. Las esporas de bacterias pueden ser muy resistentes y de echo las mayoría de los desinfectantes no son efectivos para la eliminación de las esporas”. (Lenntech 1993).

- Los microorganismos presentes y su comportamiento El tipo de microorganismos presentes en el agua tiene influencia definitiva en el proceso de desinfección. La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante parece estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo y por la relativa afinidad química con las sustancias vitales del microorganismo. Las bacterias como las del grupo coliforme y las salmonelas son las menos resistentes a la

desinfección, pues su respiración se efectúa en la superficie de la célula. El número de microorganismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección. Ello quiere decir que para matar una gran cantidad de microorganismos se requiere la misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante que para eliminar una cantidad pequeña, siempre y cuando la temperatura y pH del agua sean los mismos. Cuando las bacterias forman aglomerados celulares, las que se encuentran protegidas en el interior pueden sobrevivir luego del proceso de dosificación del desinfectante. Para evitar que esto ocurra, es necesario favorecer la distribución uniforme de los microorganismos en el agua, lo cual se puede lograr mediante la agitación. (Vargas, Lidia. 2004)

- La naturaleza y concentración del agente desinfectante Desinfectantes como el cloro y derivados pueden formar en el agua una serie de especies químicas cloradas, de diferente eficiencia desinfectante. Por otro lado, la concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua. (Vargas, Lidia. 2004)
- La temperatura del agua Por lo general, la temperatura favorece el proceso de desinfección. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura. Por tanto, en condiciones extremas de temperatura —por ejemplo, en lugares donde el agua llega a menos de 5 °C o en otros donde puede tener 35 °C—, la cantidad del desinfectante disuelto en el agua variará considerablemente; será menor a mayor temperatura y viceversa. (Vargas, Lidia. 2004)
- La naturaleza y calidad del agua. La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua e interferir en la desinfección. La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura. En ciertos casos, si en el agua persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos en los procesos previos a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o compuestos que

confieren sabor u olor al agua, muchos de ellos desagradables, lo que cambiaría su calidad organoléptica. (Vargas, Lidia. 2004)

- El pH del agua es de suma importancia para la vida de los microorganismos acuáticos, ya que valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso, con excepción de los quistes de amebas, que soportan pH tan altos como 13 ó tan bajos como 1. Por otra parte, la acción de los desinfectantes es fuertemente influenciada por el pH del agua. De acuerdo con su naturaleza, cada desinfectante tiene un rango de pH de mayor efectividad. Sin embargo, la práctica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto. (Vargas, Lidia. 2004)

## 2.5. Microorganismos presentes en el agua.

Los microorganismos como bacterias, virus y protozoos son demasiado pequeños para ver sin la ayuda de un microscopio. Aunque la mayoría son microorganismos inofensivos, los hay también “infecciosos”. Éstos se pueden multiplicar en el cuerpo y causar enfermedades. El agua es el principal medio de transporte de bacterias virus y protozoos, los cuales, al ser ingeridos por el ser humano ocasionan daños en la salud, por ello la gran importancia de la desinfección en el proceso de la potabilización. La desinfección garantiza la inactivación o eliminación de algunos agentes patógenos presentes en el agua como los mencionados en la tabla 1, cumpliendo con la normativa vigente para la remoción de estos microorganismos y permitiendo un consumo de agua de calidad libre de riesgos biológicos. (Lenntech 1993).

**Tabla 1. Microorganismos presentes en el agua.**

<b>BACTERIAS</b>	Vibrio Choleare, Vibrio Choleare NAG, Vibrio para haemolyticus, Salmonella typhi Salmonella paratyphi, Escherichia coli, Shigella Dysenteriae, Shigella flexneri y otros Clostridium botulinum, Clostridium perfringens y otros, Leptospita, Mycobacterium tuberculosis, Yersinia enterocolitica, Guardia lamblia, Legionella, Esterptococos fecales
<b>VIRUS</b>	Enterovirus, Polio virus, Echo virus, Coxsackie, virus A, Coxsackie virus B, Nuevos enterovirus, Hepatitis tipo A, Virus poliomieltitis, Virus gastroenteritis, Rotavirus, Reo virus, Adenovirus, Parvovirus

<b>PROTOZOOS Y HELMINTOS</b>	Balantidium coli, Crytosporidium, Entamoeba histolytica, Fiardia lamblia, Ascaris lumbricoides Enterovirus vermiaelaris, Fasciola hepática, Hymenolepis nana, Taenia saginata, Taenia solium, Trichuris trichiura, Schistosoma, Dracunculus medinensi, haematobium
----------------------------------	---

### 2.5.1. Bacterias.

Las bacterias son microorganismo unicelulares con un tamaño entre 0,5 y 5 um, con diversas formas incluyendo esferas (cocos), barras (bacilos) y hélices (espirilos). Las bacterias son Procariotas y por lo tanto, a diferencia de las C. Eucariotas (de animales, plantas, hongos, etc.), no tienen un nucleó definido. Las bacterias ingresan al ser humano por medio de la boca, vías respiratorias y los ojos. “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”. (Lenntech 1993).

Las bacterias son las responsables de muchas enfermedades las cuales se relacionan en la tabla 2.

**Tabla 2. Enfermedades originadas por bacterias**

BACTERIAS	ENFERMEDADES
<b>Vibrio Choleare</b> <b>Vibrio Choleare NAG</b> <b>Vibrio para haemolyticus</b> <b>Otros tipos de Vibrio</b>	Cólera Enfermedades coleriformes Enteritis Enteritis
<b>Salmonella typhi</b> <b>Salmonella paratyphi</b> <b>Otras Salmonella</b>	Fiebre tifoidea Fiebre paratifoidea Enteritis
<b>Escherichia coli</b>	Enteritis
<b>Shigella Dysenteriae</b> <b>Shigella flexneri y otros</b>	Disentería Disentería
<b>Clostridium botulinum</b> <b>Clostridium perfringens y otros</b>	Botulismo Enteritis
<b>Leptospita</b>	Leptospirosis
<b>Mycobacterium tuberculosis</b>	Tuberculosis

<b>Yersinia enterocolitica</b>	Enteritis, artritis.
<b>Guardia lamblia</b>	Calambres estomacales, dolores intestinales (giardiasis)
<b>Legionella</b>	Enfermedad de la legionella (pulmonía)
<b>Esterptococos fecales</b>	Endocarditis, infecciones urinarias

Fuente. Hernández A. 2001.

### 2.5.2. Virus.

Es un agente infeccioso microscópico que sólo puede multiplicarse dentro de las células de otros organismos. Los virus infectan todos los tipos de organismos, desde animales y plantas, hasta bacterias y arqueas. Los virus son demasiado pequeños para poder ser observados con la ayuda de un microscopio óptico por lo que se dice que son submicroscópicos.

Desde el punto de vista de la salud pública, los virus entéricos son el grupo de organismos patógenos más críticos, debido a que la dosis mínima infecciosa es muy baja, son muy resistentes a los sistemas de desinfección y el control a nivel de laboratorio es difícil y costoso. Seguramente el número de brotes y casos esporádicos de enfermedades causadas por virus transmitidos por el agua es mucho mayor que el de los asociados a bacterias y protozoos. Sin embargo, no se tiene información adecuada debido a varias causas:

- Los virus son más difíciles de detectar en todos los medios acuáticos
- son a menudo confundidos con infecciones no específicas.
- La epidemiología es usualmente difícil por la trivialidad de la mayoría de las infecciones virales, de modo que pocas veces llega la información a las autoridades sanitarias. (M. Espigares. 2006).

Los virus transmiten enfermedades típicas y atípicas cuya incidencia es muy variable uno de otros, causando alteraciones en la salud e incluso la muerte. Dichas enfermedades se relacionan en la tabla 3.

**Tabla 3. Algunas enfermedades originadas por virus.**

<b>GRUPOS</b>	<b>ENFERMEDADES</b>
<b>Enterovirus</b>	Exatemas.
<b>Polio virus</b>	Parálisis, Meningitis, Fiebre.

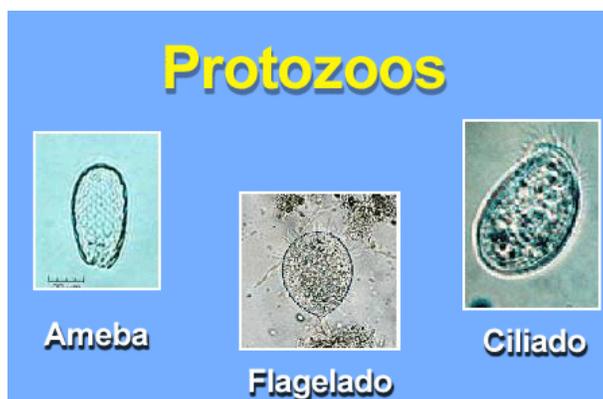
<b>Echo virus</b>	Meningitis, enfermedades respiratorias, diarrea, fiebre.
<b>Coxsackie virus A</b>	Angina, enfermedades respiratorias, meningitis, fiebre
<b>Coxsackie virus B</b>	Miocarditis, anormalidades congénitas del corazón, fiebre, enfermedades respiratorias, pleurodinia
<b>Nuevos enterovirus</b>	Meningitis, encefalitis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis hemorrágica aguda
<b>Hepatitis tipo A</b>	Hepatitis infecciosa
<b>Virus poliomielitis</b>	Poliomielitis aguda
<b>Virus gastroenteritis</b>	Vómitos, diarreas epidémicas
<b>Rotavirus.</b>	Vómitos, diarreas epidémicas
<b>Reo virus</b>	Sin establecer claramente
<b>Adenovirus</b>	Enfermedades respiratorias, infección en los ojos
<b>Parvovirus</b>	Asociado con enfermedades respiratorias de los niños, sin establecer claramente

Fuente. Hernández A. 2001

### 2.5.3. Parásitos protozoos

Parásitos protozoos son organismos unicelulares (imagen 6). 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. (Lenntech 1993). Los protozoos y helmintos presentes en el agua transmiten múltiples enfermedades las cuales se relacionan en la tabla 4.

Imagen 6. Protozoos



Fuente. Garcia Enrique.

**Tabla 4. Enfermedades originadas por protozoos.**

<b>ORGANISMOS</b>	<b>ENFERMEDADES</b>
<b>PROTOZOOS</b> Balantidium coli Cryptosporidium Entamoeba histolytica  Fiardia lamblia	Balantidiasis Criptosporidosis (diarrea) Amebiasis (diarreas con sangre, abscesos de hígado e intestino delgado) Giardiasis (diarrea, nauseas, indigestión)
<b>HELMINTOS</b> Ascaris lumbricoides Enterovirus vermiaelaris Fasciola hepática Hymenolepis nana Taenia saginata Taenia solium Trichuris trichiura Schistosoma haematobium Dracunculus medinensi	Ascariasis (infestación de gusanos) Enterobiasis (gusanos) Fasciolosis (gusanos) Himenlepiasis (tenia enana) Teniasis (tenia del buey) Teniasis (tenia del cerdo) Trichuriasis (gusanos) Esquistomiasis Dracontiasis.

**Fuente. Hernández A. 2001**

## 2.6. Marco legal.

La desinfección en el tratamiento de potabilización del agua es indispensable para el proceso ya que este marca las pautas de calidad y garantiza una eliminación de microorganismos patógenos perjudiciales para la salud humana. Dada esta importancia la normativa legal vigente en Colombia está regida por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, la resolución 2115 de 2007, decreto 475/98 y el decreto 1076 de 2015. En la tabla 5 se relacionan las normas vigentes en Colombia para la potabilización del agua.

**Tabla 5. Relación de normas legales vigentes a tener en cuenta en la desinfección del agua.**

<b>NORMA LEGAL</b>	<b>EMISOR</b>	<b>OBLIGACION</b>
RESOLUCIÓN 1096 DE 2000 REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000. TÍTULO II SECCIÓN C. SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN.	MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.	REQUISITOS TÉCNICOS OBLIGATORIOS. DESINFECCIÓN. ES OBLIGATORIO EN TODOS LOS NIVELES DE COMPLEJIDAD, DESINFECTAR EL AGUA SIN IMPORTAR EL TIPO DE TRATAMIENTO PREVIO QUE SE HAYA REALIZADO PARA SU POTABILIZACIÓN. ENTRE LOS PROCESOS DE DESINFECCIÓN QUE PUEDEN REALIZARSE ESTA LA CLORACIÓN, OZONACIÓN Y DESINFECCIÓN CON DIÓXIDO DE CLORO.
RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO	POR MEDIO DE LA CUAL SE SEÑALAN CARACTERÍSTICAS, INSTRUMENTOS BÁSICOS Y FRECUENCIAS DEL SISTEMA DE CONTROL Y VIGILANCIA PARA LA CALIDAD

	TERRITORIAL,	DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.
DECRETO 1076 DE 2015	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	ARTICULO 2.2.3.3.9.3. TRANSITORIO. TRATAMIENTO CONVENCIONAL Y CRITERIOS DE CALIDAD PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO ARTÍCULO 9.

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 cuyo objetivo es desarrollar las normas técnicas que definen los requerimientos básicos para el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia e indica los parámetros máximos y mínimos permisibles en todo lo relacionado con potabilización. En la sección II título C indica todo lo referente a SISTEMAS DE POTABILIZACION. El ras indica los diversos parámetros que se deben tener en cuenta para la potabilización del agua relacionando los niveles máximos y mínimos admisibles para un adecuado tratamiento de potabilización.

En la imagen 7 se muestran los parámetros admisibles en relación con la calidad de la fuente y el grado de tratamiento que se requiere para el proceso. La información fue tomada de la tabla C.2.1. del RAS 2000.

En la imagen 8 se ilustran los parámetros admisibles por la normativa Colombia que se rigen para la potabilización del agua según el decreto 1076 de 2015.

La resolución 2115 de 2007 establece unos criterios para asignar puntajes que indican el índice de tratamiento del agua para consumo humano el cual está establecido mediante una fórmula matemática. El puntaje tiene un rango establecido de 0 a 50 puntos, siendo 50 el máximo.

La resolución también describe las frecuencias mínimas y número de muestras que debe realizar la autoridad sanitaria a la calidad física y química del agua para consumo humano en la red de distribución para la población dependiendo de su nivel de complejidad.

Imagen 7. Parámetros según calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	SI, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente. RAS 2000 tabla C.2.1.

Imagen 8. Criterios de calidad admisibles para consumo humano.

Referencia	Expresado como	Valor	Referencia	Expresado como	Valor
Amoniaco	N	1.0	Mercurio	Hg	0,002
Arsénico	As	0.05	Nitratos	N	10.0
Bario	Ba	1.0	Nitritos	N	1.0
Cadmio	Cd	0.01	pH	Unidades	6.5 – 8.5
Cianuro	CN <sup>-</sup>	0.2	Plata	Ag	0.05
Zinc	Zn	15.0	Plomo	Pb	0.05
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250.0	Selenio	Se	0.01
Cobre	Cu	1.0	Sulfatos	SO <sub>4</sub>	400.0
Color	Color real	20 Unidades escala platino	Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
Compuestos fenolicos	Fenol	0.002	Turbiedad	UJT	10 unidades Jackson de turbiedad UJT
Cromo	Cr <sup>6+</sup>	0.05	Coliformes totales	nMP	1000 microorganismos/100ml
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	No detectable			

Fuente. Decreto 1076.

### **3. METODOS DE DESINFECCION**

A través de los años se han implementado nuevos métodos de desinfección los cuales son efectivos en ciertas condiciones y con un tratamiento de potabilización específico. Para implementar un sistema de desinfección es necesario tener en cuenta varios parámetros como son el alto costo del desinfectante, el consumo energético, la calidad del agua a tratar, la población y el caudal a tratar. “Las tecnologías de oxidación forman parte de un grupo de procesos que tienen la capacidad de reducir o eliminar tanto la toxicidad como el volumen de contaminantes peligrosos. La oxidación se logra mediante oxidantes químicos o físicos. Estos agentes pueden oxidar materiales peligrosos hasta su eliminación total en forma de moléculas inorgánicas o lo que es más habitual, transformar a los contaminantes en sustancias menos tóxicas o que son más fáciles de degradar por otros métodos”. (González, Adrián. 2011)

#### ***3.1. DESINFECCIÓN QUÍMICA.***

Los desinfectantes químicos son sustancias químicas que eliminan o inactivan microorganismos patógenos presentes en el agua. Cada uno de los compuestos químicos puede proporcionar una desinfección eficaz si se aplican de forma adecuada.

##### **3.1.1. DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE CON OZONO.**

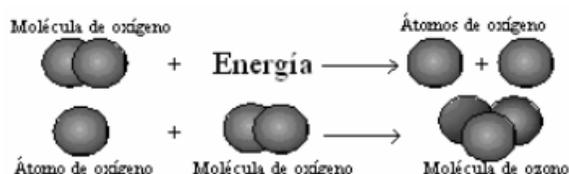
La ozonificación en el agua es una de las alternativas a la cloración debido a su acción oxidante potencialmente mayor que la del cloro, brindando mayor eficacia en la eliminación de olor, sabor, color y microorganismos patógenos.

###### ***3.1.1.1. Características físico químicas del ozono.***

El uso de ozono como desinfectante en el tratamiento de agua requiere un entendimiento de sus características físicas y químicas, ya que un complejo número de factores afectan su solubilidad, reactividad y su estabilidad. La molécula de ozono está formada por tres átomos de oxígeno como se ilustra en la

imagen 9. El ozono es muy oxidante, ya que fácilmente cede uno de sus átomos a otros compuestos oxidándolos, razón por la cual es empleado como desinfectante y germicida. (Calderón, José. 2005). El ozono es producido a partir del oxígeno puro y vuelve al oxígeno puro; este desaparece sin dejar rastro en cuanto ha sido usado una vez. Cuando el ozono desinfecta o descompone bacterias o contaminantes dañinos no hay generalmente subproductos, a diferencia de muchos agentes desinfectantes. (Martínez, Frida. 2007). En la Tabla 6 se presenta el tiempo de vida media del ozono en fase gas y residual en el agua debido al efecto de la temperatura. Estos datos fueron obtenidos sin considerar efectos de agentes catalizadores. (Calderón, José. 2005).

**Imagen 9. Formación de la molécula de ozono.**



**Fuente. . Calderon Jose, Beutelspacher Erwin 2005**

**Tabla 6. Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura.**

Ozono en fase gas		Ozono residual en el agua (pH 7)	
Temperatura °C	Tiempo de vida media	Temperatura °C	Tiempo de vida media
-50	3 Meses	15	30 Minutos
-35	18 Días	20	20 Minutos
-25	8 Días	25	15 Minutos
20	3 Días	30	12 Minutos
120	1.5 Horas	35	8 Minutos
<b>250</b>	<b>1.5 Segundos</b>	-	-

**Fuente Calderón Jose 2005.**

### **3.1.1.2. Ventajas y desventajas.**

El tratamiento de aguas mediante ozonización presenta una serie de ventajas y desventajas frente al cloro que se resume en la tabla 7.

**Tabla 7. Ventajas y desventajas del ozono en la desinfección de agua potable**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tiene mayor acción oxidante	Es altamente corrosivo y toxico
Reduce color, olor, sabor y turbidez	Se debe realizar in situ por problemas en almacenamiento y transporte

Requiere una concentración y tiempo de contacto pequeño	Puede producir subproductos como bromatos, aldehídos y ácidos
No produce trihalometanos.	No proporciona residual en la red
Su efectividad no está influida por el pH del agua	Desaparece con rapidez del agua especialmente a altos pH y temperatura
Mejora la coagulación y filtración	Puede formar óxido nítrico o ácido nítrico
Facilita la eliminación de hierro y manganeso	Genera altos costos.
No forma subproductos halogenados	Se requieren filtros activados para la eliminación de carbono orgánico biodegradable

### **3.1.1.3. Mecanismo de acción del ozono sobre microorganismos.**

Solsona Felipe indica que el mecanismo de desinfección en la ozonización se basa en el alto poder del ozono como oxidante protoplasmático general. Esta condición convierte al ozono en un eficiente destructor de bacterias y la evidencia sugiere que es igual de efectivo para atacar virus, esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos. A diferencia del cloro, la capacidad desinfectante del ozono no depende tanto de su período de retención en el agua (aunque esto tiene un efecto), sino más bien de la dosis suministrada (en la fórmula  $C \times T$  prima entonces el valor de "C"). Esto se debe a que su alto potencial oxidante produce gran inestabilidad del ozono, incluso en el agua destilada, lo que quiere decir que quedará ozono remanente y por un corto tiempo solo cuando toda la materia con alta capacidad de oxidación haya sido oxidada. En caso contrario, es posible que no se haya satisfecho completamente la demanda de ozono. Dada su escasa permanencia, es comprensible entonces la importancia de determinar adecuadamente la demanda de ozono y la dificultad que reviste determinar el residual que asegure una desinfección completa. Cuando hay presencia de material orgánico, la química se hace más compleja y se acelera la descomposición del ozono. Con un potencial de oxidación de 2,07 voltios, el ozono teóricamente puede oxidar la mayoría de los compuestos orgánicos y los convierte en dióxido de carbono y agua, pero como es selectivo en cuanto a las sustancias que oxida rápidamente, la cinética de las reacciones del ozono con muchos compuestos será demasiado lenta para que resulte en la conversión de estos a dióxido de carbono durante el tratamiento del agua. Como casi siempre la demanda total de ozono excede su suministro, estas reacciones cesarán mucho

antes de que todas las sustancias orgánicas se hayan oxidado totalmente. En el tratamiento de sustancias orgánicas, el ozono se ha usado principalmente para la ruptura de enlaces múltiples como tratamiento preliminar, antes de la filtración y como ayuda para la coagulación. Otra consideración que se debe tener en cuenta, al igual que con otros desinfectantes, es que la eficacia del ozono depende de su contacto con los microorganismos, por lo que debe evitarse que estos se agrupen y protejan (si el agua es turbia) y también se debe proveer algún sistema de mezcla o contacto con el ozono antes que el gas se disipe.

La ozonización se considera la tecnología de mayor eficiencia para eliminar prácticamente todo tipo de patógenos incluyendo parásitos como huevos de helminto. Es efectivo a bajas dosis y tiempos cortos de exposición, a diferencia del cloro, el ozono ataca la membrana celular de bacterias provocando la ruptura de la misma. Es altamente efectivo con virus y es recomendado sobre todo en aguas con alto nivel de contaminación. El ozono puede ser aplicado como pretratamiento (pre-ozonación), tratamiento intermedio (oxidación) o tratamiento final (desinfección). (Monroy, Jennifer 2015)

Lourdes 2006 menciona en su tesis que el ozono no genera trihalometanos, ni ácidos haloacéticos, pero sí produce SPDs tales como bromatos y cianuros y otros subproductos relevantes. En la imagen 10 se relacionan algunos microorganismos patógenos que son eliminados, removidos o inactivados por la desinfección con ozono.

Existen diversos factores que afectan la efectividad del ozono como son:

- *Efectos de la temperatura:* El índice de destrucción de microorganismos crece con incrementos en la temperatura. De acuerdo con la teoría de Van't Hoff-Arrhenius, la temperatura determina el índice al cual el desinfectante se difunde a través de la superficie del microorganismo y su índice de reacción con el sustrato. Se dice que un incremento de 10 °C en la temperatura incrementa el índice de reacción en un factor de 2 o 3. Esta es la razón por la cual en aguas cálidas se puede lograr el mismo efecto de

desinfección que en aguas frías con concentraciones de ozono residual menores. (Calderon Jose, Beutelspacher Erwin 2005)

- *Efectos del pH:* El impacto del pH sobre la acción bactericida o virucida es considerado pequeño en rangos de pH de 5.8 a 8. Los cambios en la eficiencia de desinfección debido al pH son provocados por cambios en el índice de destrucción de ozono. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que para diferentes valores de pH, a valores constantes de concentración de ozono residual, el grado de inactivación de bacterias prácticamente no sufre cambios. (Calderon Jose, Beutelspacher Erwin 2005)
- *Efectos de la turbiedad:* Los microorganismos normalmente no están en estado libre en el agua, generalmente están adheridos a la superficie de minerales o materia orgánica. Las sustancias o minerales inoxidables prácticamente no reducen la eficiencia de desinfección del ozono. Sin embargo, los materiales orgánicos u oxidables consumen grandes cantidades de ozono limitando su acción sobre los microorganismos. Los virus asociados con células o fragmentos de ellas son protegidos del efecto del ozono. Lo recomendable en estos casos es mejorar la calidad del agua antes de desinfectarla, en términos de turbidez y materia orgánica disuelta para lograr una óptima desinfección. (Calderon Jose, Beutelspacher Erwin 2005)

**Imagen 10. Microorganismos que elimina el ozono**

Aspergillus Niger	Coxsackie Virus A9	Influenza Virus	Salmonella typhimurium
Bacillus Bacteria	Diphtheria Pathogen	Legionella pneumophila	Schistosoma Bacteria
Bacillus Anthracis	Eberth Bacillus	Mucor piriformis	Staph epidermidis
Bacillus cereus	Enterovirus virus	Mycobacterium foruitum	Staphylococci
Bacillus subtilis	Escherichia Coli B.	Penicillium Bacteria	Stomatitis Virus
Botrytis cinerea	Encephalomyocarditis	Phytophthora parasitica	Streptococcus Bacteria
Candida Bacteria	Endamoebic Cysts B.	Poliomyelitis Virus	Verticillium dahliae
Clavibacter michiganese	Fusarium oxysporum	Proteus Bacteria	Versicular Virus
Cladosporium	Hepatitis A virus	Pseudomonas Bacteria	Virbrio Cholera Bacteria
Clostridium Bacteria	Herpes Virus	Rhabdovirus virus	Vicia Faba progeny

**Fuente Calderón, José. 2005.**

### **3.1.1.4. Dosificación de ozono para la desinfección de agua potable.**

Calderón José 2005 en su tesis Doctoral indica que la dosis de desinfectante aplicado al agua está relacionado con un factor llamado “CT” que es resultado de la multiplicación de la concentración residual del desinfectante en el agua (mg/l) por el tiempo de contacto (minutos). La EPA (Environmental Protection Agency) en EE.UU, señala que un CT = 0.72 aplicados al agua a 20°C es suficiente para desactivar 99.9 % de los quistes de Giardia lamblia (parásitos transmitidos por el agua muy difíciles de matar) y el 99.9% de virus entérico. La diferencia entre la práctica europea de desinfección y la americana depende principalmente de la temperatura del agua. En la tabla 8 se muestran los CT recomendados por la EPA para distintas temperaturas de agua.

La IBWA (International Bottled Water Associations) recomienda una dosis de 1 a 2mg de ozono por litro de agua aplicados en un tiempo entre 4 y 10 minutos, manteniendo un título de ozono residual de 0.1 a 0.4 mg/l por un tiempo de contacto de 4 a 10 minutos.

**Tabla 8. Factor de CT requerido para desinfectar con ozono a distintas temperaturas.**

Temperatura del agua °C	CT
<1	2.9
5	1.9
10	1.4
15	0.95
20	0.72
>20	0.48

**Fuente Calderón Jose 2005**

La cinética de consumo de ozono en el agua permite estimar la cantidad de ozono que se debe aplicar al agua para conseguir una cierta concentración de ozono residual. La cinética de consumo de ozono en el agua es un parámetro que depende de múltiples factores. (Calderón, José. 2005).

### 3.1.1.5. Generalidades.

Las generalidades de la de desinfección con ozono están descritas en la tabla 9, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica. En la imagen 11 se muestra el equipo utilizado en una planta de tratamiento de agua potable de tamaño medio.

**Tabla 9. Aspectos generales de la desinfección con ozono.**

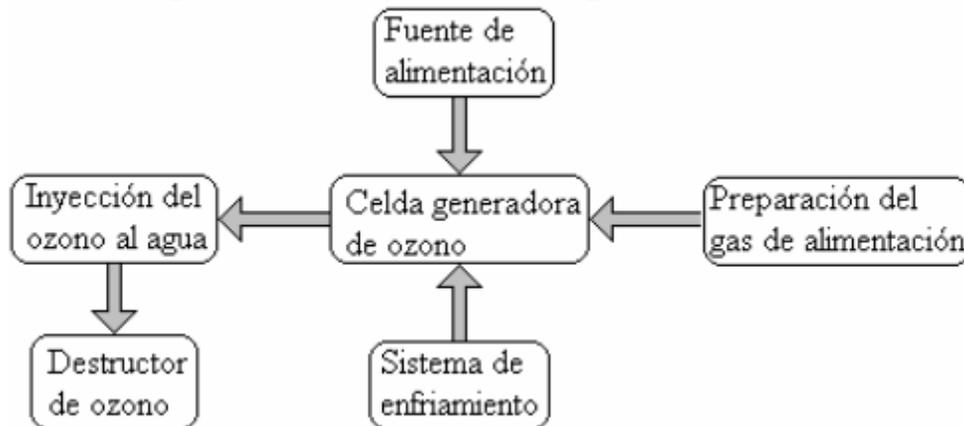
Método	Se utiliza oxígeno o aire seco.
Aplicabilidad	Plantas de tratamiento de agua potable con un nivel de complejidad bajo o comunidades pequeñas en países desarrollados. Adicionalmente se utiliza en la desinfección de piscinas y en plantas de producción de agua y en la industria de alimento.
Mecanismo de acción	Oxidación de materia orgánica.
Equipos	Básicamente de dos clases: aire seco y de oxígeno
Complejidad	Alta
Ventajas	Tiene mayor acción oxidante. Reduce color, olor, sabor y turbidez. Requiere una concentración y tiempo de contacto pequeño. No produce trihalometanos. Su efectividad no está influida por el pH del agua. Mejora la coagulación y filtración. Facilita la eliminación de hierro y manganeso. No forma subproductos halogenados
Desventajas	Es altamente corrosivo y toxico. Se debe realizar in situ por problemas en almacenamiento y transporte. Puede producir subproductos como bromatos, aldehídos y ácidos. No proporciona residual en la red. Desaparece con rapidez del agua especialmente a altos pH y temperatura. Puede formar óxido nítrico o ácido nítrico. Genera altos costos. Se requieren filtros activados para la eliminación de carbono orgánico biodegradable
Disponibilidad	Los equipos se deben adquirir en países desarrollados por ende su disponibilidad es baja.
Control analítico	No existen métodos de campo solo de laboratorios. No es factible hacer un análisis de agua en la red ya que la vida media del ozono es muy baja.
Recomendaciones	Este sistema se recomienda para plantas de tratamiento en países desarrollados o con capacidad para implementar esta técnica.

**Imagen 11. Equipo Productor de ozono de última generación de una estación potabilizadora de tamaño medio.**



Un equipo generador de ozono para aplicaciones de desinfección de agua está constituido por los elementos que se muestran en la imagen 12. Como se observa en esta figura, para desarrollar un equipo generador de ozono se requiere del estudio de varias áreas de la física y química. Cada una de las partes que componen el equipo generador de ozono desempeña un papel de importancia para lograr la producción de ozono requerida y también su correcta operación.

**Imagen 12. Partes que forman un generador de ozono.**



### **3.1.2. DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE CON BROMO.**

Tiene características químicas y desinfectantes similares a las del cloro. Parece poco probable que reemplace al cloro, puesto que es más costoso y, además comercialmente escaso. Por otra parte, por estar involucrado en la formación de hidrocarburos halogenados y por la falta de experiencia en su uso, es poco factible su uso como desinfectante de aguas. (Romero, Jairo 2005).

#### **3.1.2.1. Características físico químicas del bromo**

Elemento químico, Br, número atómico 35 y peso atómico 79.909, por lo común existe como Br<sub>2</sub>; líquido de olor intenso e irritante, rojo oscuro y de bajo punto de ebullición, pero de alta densidad. Es el único elemento no metálico líquido a temperatura y presión normales. Es muy reactivo químicamente; elemento del

grupo de los halógenos, sus propiedades son intermedias entre las del cloro y las del yodo

El bromo reacciona con el agua en forma de ácido hipobromoso.



Su efectividad es similar a la del cloro o yodo pero su costo es más alto, por lo que su uso se limita a la desinfección de aguas de piscinas, ya que posee propiedades alguicidas.

### **3.1.2.2. Ventajas y desventajas**

**Ventajas:** A temperatura ambiente el bromo es líquido, lo que lo hace más simple de manipular y dosificar que el cloro. El bromo no parece indicar ningún potencial cancerígeno cuando se disuelven en el agua. Reacciona rápidamente con sustancias orgánicas sin producir ningún residuo.

**Desventajas:** Es una sustancia corrosiva y agresiva. La disponibilidad del bromo en cualquier país o ciudad no se compara con la fácil adquisición del cloro. El bromo se vaporiza con mucha facilidad y los gases son muy agresivos. El bromo al igual que el cloro, forma trihalometanos y si hay presencia de ácidos fúlvicos y de amoníaco en el agua cruda, entonces formará bromoformo. Genera sabor desagradable. Solo se debe utilizar en casos de emergencia.

### **3.1.2.3. Mecanismo de acción del bromo sobre microorganismos.**

El HOBr actúa de manera similar al HOCl; los cuales penetran las membranas de las células de los microorganismos y una vez dentro de la célula, reacciona con grupos sulfhidrilos, inactivando enzimas y deteniendo el proceso metabólico, ocasionando a la muerte del microorganismo.

### **3.1.2.4. Generalidades**

Las generalidades de la de desinfección con bromo están descritas en la tabla 10, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica.

En la imagen 13 se muestra algunos de los equipos utilizados en la desinfección con bromo. El equipo 1 es utilizado para plantas de tratamiento pequeña y el equipo 2 es utilizado para desinfección de piscinas.

**Tabla 10. Aspectos generales de la desinfección con Bromo.**

Método	Solución.
Aplicabilidad	El bromo solo se debe utilizar en casos de emergencia en plantas de tratamiento de agua potable con un nivel de complejidad bajo o comunidades pequeñas, piscinas y torres de enfriamiento
Mecanismo de acción	Oxidación de materia orgánica.
Equipos	Son iguales a los utilizados por las soluciones de hipoclorito.
Complejidad	Muy baja.
Ventajas	A temperatura ambiente el bromo es líquido, lo que lo hace más simple de manipular y dosificar que el cloro. El bromo no parece indicar ningún potencial cancerígeno cuando se disuelven en el agua. Reacciona rápidamente con sustancias orgánicas sin producir ningún residuo. Genera residual en el agua el cual es medible igual que el cloro.
Desventajas	Es una sustancia corrosiva y agresiva. La disponibilidad del bromo en cualquier país o ciudad no se compara con la fácil adquisición del cloro. El bromo se vaporiza con mucha facilidad y los gases son muy agresivos. El bromo al igual que el cloro, forma trihalometanos y si hay presencia de ácidos fúlvicos y de amoníaco en el agua cruda, entonces formará bromoformo. Genera sabor desagradable. Solo se debe utilizar en casos de emergencia
Disponibilidad	La disponibilidad del insumo químico es muy baja
Control analítico	Se puede medir el bromo residual con una serie de comparadores de bromo residual al igual que el cloro.
Recomendaciones	Es una técnica muy buena pero por la dificultad de conseguirlo no es recomendable para los países en desarrollo.

**Imagen 13. Equipos utilizados para la desinfección con bromo**



### 3.1.3. DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE CON YODO.

El yodo se ha usado en tratamiento de aguas desde comienzos del siglo xx, aplicado por el ejército francés para desinfectar aguas en 1915 y recomendado

como desinfectante de emergencia para aguas en dosis de 2,5 a 7 mg/L. (Romero, Jairo 2005).

Es eficiente en alto grado para destruir Coliformes y quistes de amebas y un poco menos efectivo para inactivar los virus. El yodo se emplea preferiblemente para la desinfección de piscinas por su baja irritación ocular y puede ser utilizada en catástrofes para la desinfección del agua de bebida ya que la tintura de yodo es un medicamento utilizado en esas circunstancias con múltiples propósitos. (Pérez, Jaime. 2002).

### **3.1.3.1. Características del yodo**

De los cuatro halógenos, es el de mayor masa atómica y el menos soluble en agua, 339 mg/L, así como el menos hidrolizable y el de menor potencial de oxidación; ofrece reactividad mínima con los compuestos orgánicos. Por las características anteriores, los residuales de yodo son más estables y persisten más tiempo en presencia de materiales orgánicos o sustancias oxidables por los demás.

Los hechos por Black indican que, en general concentraciones menores de 1mg/L de  $I_2$  no son detectables por color, olor o sabor. De la misma manera concentraciones hasta de 5mg/L de  $I_2$  no son detectables. Cuando la concentración de  $I_2$  es de 1.5 a 2,0 mg/L es posible detectar sabor, aunque no rechazable. (Romero, Jairo 2005).

### **3.1.3.2. Mecanismo de acción del yodo sobre microorganismos.**

Los estudios realizados indican que el ácido hipoyodoso, HIO destruye bacterias a una tasa superior que el yodo  $I_2$ . El ion yoduro  $I^-$  y el  $HIO_3$  son prácticamente inertes como viricidas. Sin embargo el yodo  $I_2$  es más efectivo como exterminador de quistes de *Entamoeba histolyca* que el HIO. Se ha encontrado que la acción bactericida del yodo es en general similar a la del cloro en cuanto a la influencia de la temperatura y del pH, pero en las mismas condiciones se requieren dosis más

altas de yodo para obtener los mismos resultados de mortalidad. (Romero, Jairo 2005).

### **3.1.3.3. Ventajas y desventajas**

Ventajas: El yodo no reacciona con los compuestos de nitrógeno, no forma yominas y, por tanto la efectividad del I<sub>2</sub> como bactericida y quisticida, así como el efecto viricida de HIO, no son afectados por la demanda de los compuestos de nitrógeno.

Desventajas: el yodo genera un sabor desagradable y debido a su alto costo y baja disponibilidad comercial parece poco probable que el yodo reemplace al cloro. (Romero, Jairo 2005).

### **3.1.3.4. Dosificación del yodo como desinfectante en agua potable.**

Un método práctico para desinfección con yodo en acueductos consiste en aplicar soluciones de baja concentración de yodo elemental, proveniente de yodo en cristales. Las dosificaciones más usadas son de 1 a 2 mg/L. la aplicación se hace por lo general mediante un saturados; los cristales de yodo se colocan en una capa de aproximadamente de 30 cm de altura y se dejan disolver en agua. Dada la baja solubilidad del yodo la solución tendrá, según la temperatura, una concentración de 200 a 300 mg/L y se aplica con una bomba dosificadora o con un equipo de dosificación con control apropiado. Para medir el residual de yodo se puede usar el método de yoduro-almidón y los métodos colorimétricos con DPD o con violeta de cristal leuco. (Romero, Jairo 2005).

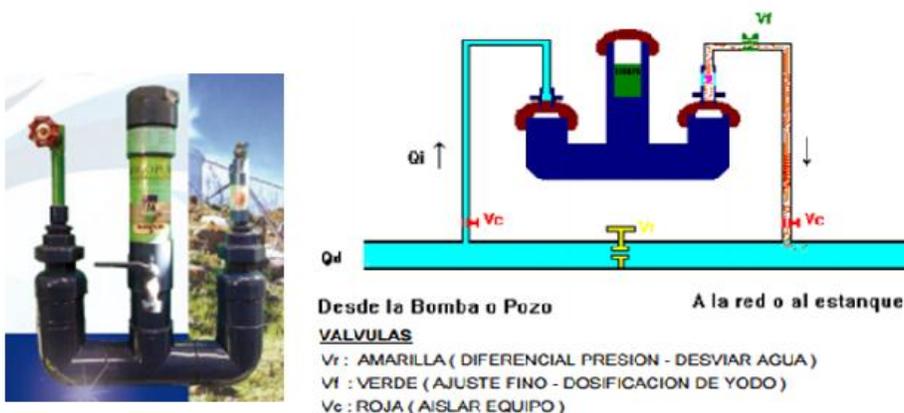
### **3.1.3.5. Generalidades**

Las generalidades de la de desinfección con yodo están descritas en la tabla 11, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica. En la imagen 8 se observa el equipo denominado Iodopur y su funcionamiento el cual es utilizado para desinfección por yodo.

**Tabla 11. Aspectos generales de la desinfección con Yodo.**

Método	Dosificación en solución.
Aplicabilidad	En la actualidad no se utiliza a nivel industrial. Se aplica a nivel familiar y en comunidades pequeñas. Se realizaron pruebas piloto en cárceles y hospitales en estados unidos demostrando que no genera daños en la salud humana y que la desinfección por este método es mucho mejor que la del cloro. Solo se utiliza en caso de emergencia.
Mecanismo de acción	Oxidación de materia orgánica.
Equipos	Los mismos que se usan para la cloración aunque son preferibles las bombas dosificadoras.
Complejidad	Muy baja pero se debe tener cuidado con el yodo cristalino.
Ventajas	Genera residual en el agua el cual es medible igual que el cloro. No reacciona con los compuestos de nitrógeno, no forma yominas.
Desventajas	Genera un sabor desagradable. Parece poco probable que el yodo reemplace al cloro dado su alto costo y baja disponibilidad comercial.
Disponibilidad	La disponibilidad del insumo químico es muy baja
Control analítico	Se puede determinar en agua por titulación amperométrica o espectrofotometría.
Recomendaciones	No es un método recomendable y por ello es poco utilizado para desinfecciones de rutina. Por su facilidad de manejo es una buena opción para desinfección de emergencia.

**Imagen 14. Equipos utilizados para la desinfección con yodo.**



### 3.1.4. DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE CON PLATA IONIZADA.

Los iones de plata son un desinfectante utilizado en filtros domésticos de porcelana porosa y en plantas de purificación para usos industriales. (Pérez, Jaime. 2002). El sistema conocido como katadyn si bien es más caro que la cloración deja efectos residuales. (Arboleda, Jorge. 2005).

Metales como la plata, el cobre, el mercurio, el manganeso y el hierro, entre otros, son potenciales desinfectantes del agua. Sin embargo, de todos ellos y por

variadas razones, solo la plata ha tenido algún uso en la desinfección del agua para consumo humano y como tal ha sido utilizada desde la antigüedad.

#### **3.1.4.1. Características físico químicas**

La ionización del cobre y la plata se llevan a cabo mediante la electrolisis y durante la ionización los átomos se vuelven cationes o aniones. El agua a desinfectar pasa por los electrodos y la mayoría de los iones liberados se pierden con el agua antes de llegar al electrodo opuesto. La concentración de iones se determina por el flujo del agua. El número de iones liberados aumenta, cuando se aplica una mayor corriente eléctrica. (Lenntech. 1993)

#### **3.1.4.2. Ventajas y desventajas**

Ventajas: No es tóxica para los seres humanos. No produce sabor, olor ni color en el agua tratada. No hay formación de productos adicionales.

Desventajas: El costo es más elevado que las soluciones de cloro con igual capacidad bactericida. El costo final depende del tamaño, del caudal a desinfectar y de los equipos auxiliares. Resulta difícil controlar la dosificación por falta de un método simple de análisis de laboratorio. Los costos de producción son altos. Se estima que el costo de la desinfección con plata resulta 200 a 300 veces superior al costo de la cloración. El pH del agua influye directamente en la efectividad del desinfectante ya que la y a mayor concentración de sólidos disueltos menor desinfección puesto que la plata tiende a precipitarse lo que indica que los iones de plata no tienen disponibilidad bactericida. El cloro y los nitratos presentes en el agua tienen gran afinidad con los iones de plata a lo cual les permite reaccionar fácilmente impidiendo su efectividad y lo que les permite a los microorganismos ser resistente a los iones de plata.

#### **3.1.4.3. Mecanismo de acción.**

Los iones cargados positivamente ( $\text{Cu}^{2+}$ ) en el agua intentan buscar partículas con polaridad opuesta, como bacterias, virus y hongos. Los iones de cobre cargados positivamente forman compuestos electrostáticos con células de

microorganismos que están cargados positivamente. Esto produce daño o interrupción en la permeabilidad de la pared celular y por lo tanto evita la toma de nutrientes. (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

La plata solo tiene propiedades desinfectantes en su estado coloidal, esto es cuando se presenta en partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión y que por su tamaño se cargan eléctricamente con mucha facilidad. En ese estado también es conocida como proteína de plata, sales de plata, proteína de plata ligera y proteína de plata fuerte. Las sales que se utilizan son: cloruro de plata y yoduro de plata. La plata en su forma coloidal no elimina a los virus, pero se considera de gran eficacia para destruir diversas bacterias. El mecanismo de desinfección actúa por la inactivación de las enzimas de las células bacterianas y hongos que usan oxígeno para su metabolismo, pues causa una disrupción celular, aunque en tiempos muy variables y dependientes de la temperatura. Las dosis recomendadas para una alta eficiencia germicida están en el rango de 25 a 75 microgramos de plata por litro (0,025 – 0,075 mg/l). (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

#### **3.1.4.4. Generalidades.**

Las generalidades de la de desinfección con plata ionizada están descritas en la tabla 12, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica. En la imagen 15 se observa el equipo utilizado para desinfección por plata ionizada ya que son los mismos utilizados para dosificar hipoclorito de sodio.

**Tabla 12. Aspectos generales de la desinfección con plata ionizada.**

Método	Dosificación en solución.
Aplicabilidad	Se aplica en desinfección de estanques de peces, Piscinas, Torres de enfriamiento, Hospitales y algunas empresas de producción de agua. A nivel familiar y comunidades pequeñas.
Mecanismo de acción	Oligodinamia.
Equipos	Los mismos que se usan para dosificar el hipoclorito de sodio, bombas dosificadoras, equipos de dosificación bajo presión o a presión atmosférica.
Complejidad	Muy baja.
Ventajas	No genera cambio organolépticos en al agua tratada. No es tóxica para los seres humanos. No produce sabor, olor ni color en el agua tratada. No hay formación de productos adicionales.
Desventajas	Resulta difícil controlar la dosificación por falta de un método simple de

	análisis de laboratorio. Los costos de producción son altos. Se estima que el costo de la desinfección con plata resulta 200 a 300 veces superior al costo de la cloración. El pH del agua influye directamente en la efectividad del desinfectante
Disponibilidad	La disponibilidad del insumo químico es baja
Control analítico	No existe un método práctico para nivel rural.
Recomendaciones	Es una buena opción para desinfección familiar.

**Imagen 15. Equipos utilizados para dosificación de plata ionizada.**



### **3.1.5. DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE CON METODOS SINERGICOS.**

Según el diccionario, el término “sinergia” significa “la interacción y actividad combinada de dos o más entes biológicos, sustancias o componentes. La resultante es cualitativa y cuantitativamente distinta de la sumatoria de las capacidades individuales”.

Las sustancias que se utilizan como desinfectantes se complementan con sus características y efectos bactericidas sobre los microorganismos individualmente potenciando el efecto. Cada sustancias tiene diferentes atributos, unos más potentes que otros que sumados con los atributos de otra sustancia esta se potencializa mucho más siendo el nuevo producto más efectivo.

No existen muchas combinaciones en relación a este método, sin embargo se han estudiado algunos cosas los cuales han enriquecido con nuevas experiencias e investigaciones estos nuevos procesos arrojando brandes descubrimientos. (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

Los casos más estudiados son los siguientes-

- Plata/peróxido de hidrógeno
- Plata/cobre
- Plata/cobre/cloro
- Yodo/cloro
- Ozono/peróxido de hidrógeno
- Ozono/UV.

No se tiene certeza sobre los efectos que este método genera sobre la salud, pero es indispensable tener en cuenta los efectos individuales de cada desinfectante y así tener una noción de los posibles riesgos que se puedan presentar. Para tener certeza de los riesgos se deben realizar estudios para determinar el nivel de riesgo asociado a cada producto sinérgico.

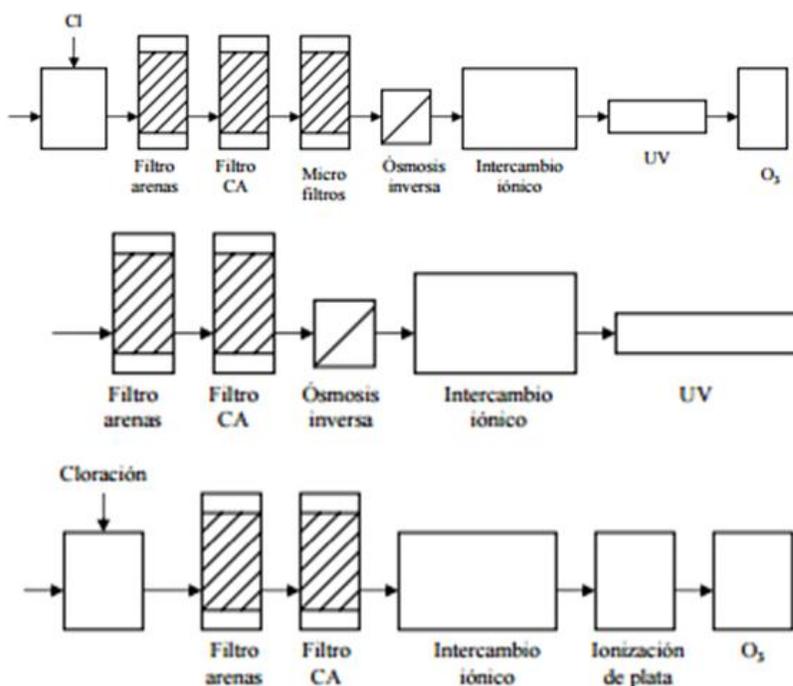
Por otro lado la acción desinfectante es mucho mayor que la suma de cada sustancia componente del producto sinérgico y los mecanismos de acción sobre los microorganismos es la propia de cada sustancia como son la destrucción de enzimas, oxidación entre otras, pero con la combinación de estos productos esta acción es de mayor potencia y efecto.

De igual forma se pueden combinar muchos métodos tanto químicos como físicos los cuales se complementan y tienen un efecto germicida más efectivo. Los posibles trenes de desinfección que se pueden mezclar son los ilustrados en la imagen 16 los cuales pueden generar mayor eficiencia y remoción de bacterias ya que algunos desinfectantes son efectivos que otros.

#### **3.1.5.1. Generalidades.**

Las generalidades de la de desinfección con métodos sinérgicos están descritas en la tabla 13, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica.

Imagen 16. Trenes de desinfección.



Fuente. Ponce Efraín. 2005

Tabla 13. Generalidades de la desinfección con métodos sinérgicos

Método	Varios
Aplicabilidad	Depende del método
Mecanismo de acción	Depende de los métodos individuales que conforman el método sinérgico. Puede ser oxidación, radiación, etc
Equipos	No difieren de los equipos que utilizan cada una de las técnicas individualmente
Complejidad	Obviamente que habrá mayor complejidad que utilizando técnicas individuales
Ventajas	Con la sinergia se consiguen acciones de desinfección que no se consiguen por otros métodos. Tanto en la acción de aniquilación de microorganismos como en la producción de SPS. La mayor complejidad conlleva una excelencia en la desinfección
Desventajas	Complejidad, dificultad en conocer con exactitud los mecanismos que están ocurriendo en la desinfección. Mayores costos. Necesidad de mayores controles y personal capacitado. Posiblemente dificultad en medir residuales
Disponibilidad	Baja por el momento, ya que no son métodos populares
Control analítico	Responde a las necesidades analíticas de cada uno de los métodos individuales. Posiblemente cierta dificultad o la necesidad de equipamiento e instrumentación delicada o compleja
Recomendaciones	Por el momento son solo técnicas que están más dentro del área de la investigación y el desarrollo que del gran uso. No se recomienda por ahora para áreas rurales de países en desarrollo

## **3.2. DESINFECCION FISICA.**

### **3.2.1. DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA.**

El agua, el aire y los alimentos pueden desinfectarse mediante radiación UV, luz de 30 – 3.650 Å, emitida por una lámpara de vapor de mercurio y cuarzo. Las ondas bactericidas se extienden entre los 2.000 – 2.950 Å con un efecto máximo a una longitud de onda de 2.537 Å. Su uso se ve muy limitado por el hecho de que la radiación es absorbida por el agua y por ello el caudal debe presentarse a la radiación en películas delgadas. (Romero Jairo 2005).

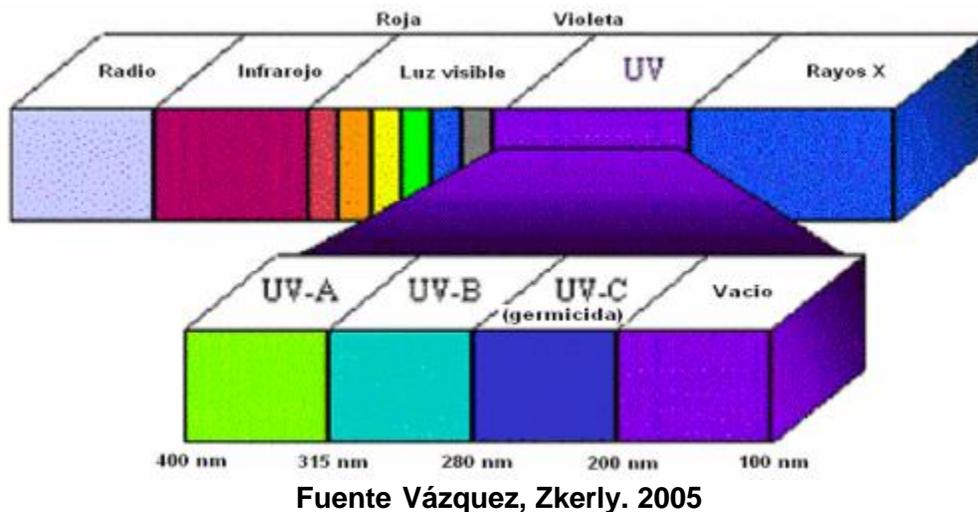
La luz ultravioleta (UV) es una alternativa establecida y de creciente popularidad al uso de químicos para la desinfección de agua, agua residual y de aguas industriales de varias calidades. Los sistemas de desinfección UV pueden ser diseñados para un amplio rango de aplicaciones teniendo en cuenta la calidad del agua.

#### **3.2.1.1. Características de luz ultravioleta**

La seguridad de la desinfección UV se ha probado científicamente y es una alternativa eficaz y económica a la cloración que no requiere la adición de agentes químicos. Al irradiar a los microorganismos presentes en el agua con radiación UV se provoca una serie de alteraciones en su material genético ADN, que impiden la división celular y causan, eventualmente, la muerte. El rango de radiación ultravioleta está situado en un extremo fuera de la onda larga (UV-A) también conocida como radiación ultravioleta cercana, la onda media (UV-B), y onda corta (UV-C) son conocidas como UV lejana. La porción germicida de la banda de radiación UV está entre 220 y 320 nm principalmente en el rango UV-C. La radiación UV con propiedades más germicidas es aquella de longitud de onda de 254 nm. El ADN expuesto a esta energía presenta un máximo de absorción o inactivación. La porción del espectro electromagnético en el que la radiación UV ocurre (ver imagen 17), está entre 100 y 400 nm. La radiación ultravioleta puede producir severas alteraciones en el ADN de los microorganismos. Algunos de los daños incluyen la formación de dímeros o hidratos, desnaturalizadores de la doble

cadena de ADN e implemento de la división celular. (Vázquez, Zkerly. 2005). La desinfección con UV se ha utilizado en sistemas de abastecimiento de agua de hospitales, industria de alimentos y bebidas, incluso en plantas de tratamiento de agua potable debido a su capacidad de desinfectar sin generar cambios físico-químicos en el agua.

**Imagen 17. Identificación de la radiación UV como parte del espectro electromagnético.**



### 3.2.1.2. Ventajas y desventajas.

**Ventajas:** No genera subproductos. La radiación UV no genera cambios físico-químicos en el agua tratada y es eficaz para la desactivación de la mayoría de virus, esporas y quistes, además tiene un periodo de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes. El sistema es de fácil manejo.

**Desventajas:** No tiene efecto residual. De igual manera existen variables que comprometen su efectividad como son la dureza, la turbiedad y la longitud de onda, además tiene posibilidad de foto-reactivación. Altos costos de operación y mantenimiento. Es necesario aplicar la dosis óptima. Se requiere un programa de mantenimiento preventivo para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz. (Gonzales Daniela. 2006).

### **3.2.1.3. Mecanismo de acción de UV**

El mecanismo de inactivación por luz UV se ha atribuido a la transformación fotoquímica de bases pirimidinas en el ADN de las bacterias, virus y otros patógenos para formar dímeros, así destruyendo su capacidad de multiplicarse y causar enfermedades (Sharma y Demirci. 2003).

Los microorganismos son inactivados por la radiación UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. Los UV son adsorbidos por nucleótidos, los bloques de construcción del ADN y ARN celulares, de una manera dependiente de la longitud de onda con picos de cerca de 200 y 260 nm. La luz UV absorbida promueve la formación de uniones entre nucleótidos adyacentes, creando moléculas dobles o dímeros. La formación de dímeros timina-timina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina citosina-timina y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microorganismos impide que este replique su ADN y ARN pidiendo así su reproducción y provocando además un efecto letal sobre las células (Mani, 2003).

Muchos microbios que tienen un sistema metabólico funcional tienen varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleicos dañados. El mecanismo de reparación que es único a la desinfección UV es el de fotoreactivación. La fotodimerización de tiaminas adyacentes resultantes de la absorción UV de los ácidos nucleicos puede ser invertida por una enzima fotoreactivada que usa luz entre 300 y 500 nm para activar la partición del dímero. Otras transformaciones inducidas por UV en los ácidos nucleicos incluyendo dímeros que se componen de citosina no pueden ser reparados excepto por mecanismo de reparación oscuro en el cual segmentos enteros de ácido nucleico son extraídos y el segmento complementario sin dañar es usado como molde para reparar y reemplazar el segmento dañado. (H. B. Wright y W. L. Cairns. 1998).

Los virus no tienen mecanismos de reparación para invertir el daño creado por la luz UV. La habilidad de la bacteria y otros microbios para fotorepararse está relacionada directamente a la extensión del daño UV, la exposición a la luz

reactivadora entre 300 y 500nm y al pH y temperatura del agua. Una relación inversa significativa ha sido reportada entre la dosis UV aplicada y la fotoreactivación de bacteria Coliformes con menos reparación a dosis mayores. Debe ocurrir exposición a luz entre 300 y 500nm dentro de dos a tres horas para que pueda propiciarse el efecto fotoreparador. De acuerdo con ello, el tiempo de residencia dentro de un sistema de tratamiento de agua reducirá el potencial de fotoreparación. (H. B. Wright y W. L. Cairns. 1998).

La efectividad de los procesos de desinfección UV depende en buena parte de las características de los microorganismos por inactivar tal como se muestra en la tabla 14 Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la radiación UV es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de adsorción del agua y la dispersión de la luz a la distancia. (Vázquez, Zkerly. 2005).

La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) (radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (Coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16.000 y 38.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

**Tabla 14. Microorganismos removidos por UV.**

BACTERIAS	Coliformes fecales Pseudomonas aeruginosa Salmonela typhosa Staphylococcus aureus Coliforme total
VIRUS	Adenovirus Coxsackie A2 Polio tipo 1 MS-2 bacteriophage
PROTOZOARIOS	Acanthamoeba castellanii Acanthamoeba cullbertsoni Cryptosporidium parvum oocistes Giardial lamblia quistes

#### 3.2.1.4. Dosificación de radiación UV.

La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) (radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (Coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16.000 y 38.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002). En la imagen 18 se muestran valores reportados por varias fuentes de dosis de energía ultravioleta para eliminar algunos micro-organismos. 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 nematodos, que pueden requerir hasta 100.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  para su inactivación total. (Cepis 2002.)

El equipo ultravioleta con lámparas sumergidas puede tener una de las dos configuraciones básicas de flujo del agua: paralelo o perpendicular a la longitud de las lámparas. Si el flujo es perpendicular, las propias lámparas y camisas pueden producir la turbulencia necesaria para asegurar que toda el agua quede expuesta a la dosis biosida. Cuando el flujo es paralelo a la longitud de las lámparas, es necesario utilizar mezcladores estáticos (pantallas) para proporcionar la turbulencia necesaria. (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002).

Cuando un reactor UV ha sido diseñado hidráulicamente para aproximarse a un reactor UV ideal, la dosis UV administrada por el reactor puede ser calculada usando:

$$\text{Dosis UV} = I_{\text{reactor promedio}} * T_{\text{residencia}} = I_{\text{reactor promedio}} * \text{Vol}/Q$$

**Imagen 18. Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos del agua**

<b>BACTERIAS</b>	<b>ENERGIA μW/cm<sup>2</sup></b>	<b>OTROS ORGANISMOS</b>	<b>ENERGIA μW/cm<sup>2</sup></b>
Bacillus anthracis	8.700		
S. enteritidis	7.600		
B. Megatherium sp.(veg)	2.500	<b>LEVADURA</b>	
B. Megatherium sp.(sporas)	5.200		
B. peratyphosus	6.100	Saccharomyces ellipsoideus	13.200
B. subtilis	11.000	Saccharomyces sp.	1.600
B. subtilis spores	22.000	Saccharomyces cerevisiae	13.200
Clostridium tetani	22.000	Levadura para cerveza	660
Corynebacterium diphtheriae	6.500	Levadura para panadería	800
Eberthella typosa	4.100	Levadura para repostería	13.200
Escherichia coli	6.600		
Micrococcus candidus	12.300	<b>ESPORAS</b>	
Mycobacterium tuberculosis	10.000		
Neisseria catarrhalis	8.500	Penicillium roqueforti	26.400
Phytomonas tumefaciens	500	Penicillium expansum	22.000
Proteus vulgaris	6.600	Mucor racemosus A	35.200
Pseudomonas aeruginosa	10.500	Mucor racemosus B	5.200
Pseudomonas fluorescens	6.600	Oospora lactis	1.100
S. typhimurium	15.200		
Salmonella	10.000	<b>VIRUS</b>	
Sarcina lutea	26.400		
Serratia marcescens	6.160	Bacteriophage (E. coli)	6.600
Dysentery bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
Shigella paradysenteriae	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
Spirillum rubrum	6.160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1.000
Staphylococcus alous	5.720	Rotavirus	24.000
Staphylococcus aureus	6.600		
Streptococcus hemolyticus	5.500	<b>ALGAS</b>	
Streptococcus lactis	8.800		
Streptococcus viridans	3.800	Chlorella vulgaris	2.000
Vibrio cholerae	6.500		

Fuente. Cepis 2002

Donde el  $T_{residencia}$  es el tiempo de residencia del reactor con un volumen efectivo, Vol, pasando un flujo de agua Q. El volumen efectivo dentro del reactor es el volumen de agua expuesta a la luz UV y la intensidad promedio dentro del reactor es calculada para el volumen efectivo La intensidad UV dentro del reactor UV depende de la energía UV de salida de la lámpara, reflectancia, refracción y absorción de luz UV al tiempo que pasa a través de la camisa de cuarzo, y absorción de la luz UV por químicos orgánicos e inorgánicos al pasar a través del agua. La transmisión de la luz UV a través del cuarzo y agua puede ser calculada usando la ley de Lambert. La intensidad UV en un punto dentro del agua es la suma de la contribución de luz desde cada punto a lo largo del arco de cada

lámpara UV sumergida en el agua. Mientras que la determinación la intensidad UV dentro del agua es compleja, se han desarrollado modelos para perfiles de intensidad UV alrededor de una lámpara de arco de mercurio y son las bases para el programa Point Source Summation (PSS) desarrollado por la EPA de Estados Unidos para calcular las intensidades UV promedio dentro de los reactores UV de desinfección (USEPA, 1996). (Wright, H.B.; Cairns. 1998).

Por otro lado González Daniela (2006) indica que la relación entre la dosis y la destrucción de un microorganismo por tratamiento con luz UV es la siguiente:

$$N = N_0 e^{-KD}$$

Donde;

$N_0$  = numero inicial de microorganismos.

$N$  = Numero de microorganismos después del tratamiento.

$K$  = Constante de inactivación.

$D$  = Dosis.

La dosis de UV puede variar tanto con el cambio de intensidad como del tiempo de exposición. Vázquez Zkerly 2005, indica que la dosis UV recomendada para sistemas de agua es de 1000 mJ/cm<sup>2</sup> para efluente de infiltración granular media de efluente, 80 mJ/cm<sup>2</sup> para efluente de filtración con membranas y 50 mJ/cm<sup>2</sup> para efluentes de osmosis inversa. Las dosis mencionadas tienen propósito de proveer cuatro unidades logarítmicas (99,99% de inactivación) con factor de seguridad de 2.

#### **3.2.1.5. Generalidades**

Las generalidades de la de desinfección luz ultravioleta están descritas en la tabla 15, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta

técnica y sus aplicaciones en la actualidad. De igual manera en la imagen 19 se observa uno de los equipos utilizados para llevar a cabo este método.

**Tabla 15. Aspectos generales de la desinfección con UV.**

Método	Lámpara dentro o fuera del agua
Aplicabilidad	Toda gama de poblaciones desde muy pequeñas hasta muy grandes.
Mecanismo de acción	Destrucción de ADN de los microorganismos.
Equipos	Variada gama, con tubos fuera del agua o dentro de ella
Complejidad	El equipo básico en sí (la lámpara UV) es de escasa o nula complejidad. Sin embargo los equipos auxiliares que deben acompañar a aquella le confieren un variado rango de complejidad dependiendo del grado de seguridad buscado
Ventajas	No genera subproductos. La radiación UV no genera cambios físico- químicos en el agua tratada y es eficaz para la desactivación de la mayoría de virus, esporas y quistes. Corto tiempo de exposición. El sistema es de fácil manejo.
Desventajas	No tiene efecto residual. Existen variables que compromete su efectividad como son la dureza, la turbiedad y la longitud de onda. Tiene posibilidad de foto-reactivación. Altos costos de operación y mantenimiento. Es necesario aplicar la dosis óptima. Se requiere un programa de mantenimiento preventivo para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz
Disponibilidad	Depende de los proveedores externos en las zonas alejadas o rurales.
Control analítico	No hay forma de medir la eficacia de la desinfección, salvo realizar un análisis bacteriológico
Recomendaciones	Un método muy interesante por lo simple. No solo tiene aplicación y demanda en las grandes ciudades. También es una buena opción para zonas rurales

**Imagen 19. Equipos empleados en la desinfección con UV**



Fuente. Gilrein Erica. 2015

### 3.2.2. DESINFECCION CON RADIACION SOLAR

La radiación solar es uno de los métodos de desinfección de agua potable más simples y económicos, en lugares donde no hay garantías socioeconómicas las cuales impiden la sostenibilidad de otras alternativas de tratamiento. En algunos

estudios se ha demostrado el alto potencial de la desinfección solar debido a la capacidad de inactivación y eliminación de algunos microorganismos patógenos presentes en el agua.

Según González (2002) la desinfección solar es un proceso térmico y fotoquímico que consiste en elevar la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción de calor proveniente de la radiación solar, es decir que este proceso inactiva bacterias por calentamiento y se puede decir que este proceso es similar a desinfección por ebullición.

Este método no es muy popular debido a las variables que condicionan su eficiencia y calidad. Dentro de las variables se identifican el tiempo de exposición, la temperatura, condiciones climáticas, volumen de agua a tratar, turbiedad y color. (De la Cruz, Ignacio. 2004).

La OMS considera este método como una opción válida, pero solo como un método menor y experimental. Aun así en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, su utilización puede mejorar considerablemente la calidad bacteriológica de la misma. (Solsona y Méndez. 2002).

De igual manera Solsona y Méndez (2002) mencionan que algunas de las tecnologías que se han utilizado para llevar a cabo la desinfección solar requieren el uso de equipos como el calentador solar de producción continua, la cocina solar, el concentrador solar y algunos destiladores. Todos esos equipos son económicos y sencillos de operar.

#### **3.2.2.1. Mecanismo de acción de la desinfección solar.**

El funcionamiento de la SODIS se basa en la pasteurización, que es un proceso térmico. Las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, si bien hay algunas

bacterias con capacidad de esporular, lo que las hace particularmente resistentes al calor, en general puede afirmarse que la mayoría de las bacterias mueren entre los 40 y los 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40 y los 60° C. La desinfección por ebullición consiste en elevar la temperatura del agua a 100° C y mantener esa condición por espacio de uno a cinco minutos. El resultado es la eliminación de la mayoría, sino de todos, los microorganismos presentes. Para el caso del agua se ha tratado de determinar la relación óptima entre el tiempo y la temperatura para destruir los gérmenes patógenos. Si bien esto no es exacto, se ha tomado como regla que para un agua clara (con turbiedad menor de 5 UTN) se puede asegurar un razonable nivel de seguridad en la desinfección con cualquiera de las siguientes relaciones:

65 °C durante 30 minutos o 75 °C durante 15 minutos.

Desde un punto de vista eminentemente práctico y operativo estas condiciones se aseguran en zonas soleadas con exposiciones de cuatro a cinco horas en el período de máxima radiación. (Solsona y Méndez. 2002).

Este tipo de desinfección es el tratamiento más antiguo empleado para inactivar los microorganismos en el agua. La acción del calor por un tiempo prolongado y a la temperatura de ebullición causa la muerte de todo tipo de agentes microbianos, pero el alto costo requerido para hacer hervir el agua es restrictivo en la industria y en los servicios, por lo que solo a nivel casero o doméstico es aceptable esta práctica y de hecho se emplea en comunidades donde no se cuenta con infraestructura para una desinfección convencional y es posible conseguir combustibles baratos o sin costo (leña). La pasteurización o desinfección por métodos térmicos de alimentos de infantes, leche, cervezas, y otras bebidas se efectúa a nivel industrial pero solo cuando el proceso o el alto valor en precio del producto lo justifican. (E. Rocha. 2010)

#### **3.2.2.2. Ventajas y desventajas.**

- Mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano.

- Brinda a los usuarios individuales un método simple que se puede aplicar a nivel del hogar bajo su propio control y responsabilidad. SODIS es fácil de entender.
- Está al alcance de todos, pues los únicos recursos necesarios son la luz solar, que es gratis.
- No requiere de gran infraestructura costosa, por lo que es fácilmente replicable en proyectos de autoayuda. Reduce la necesidad de fuentes tradicionales de energía, como la leña, el kerosén y el gas.

### **Limitaciones del SODIS**

- Requiere suficiente radiación solar; por lo tanto, depende de las condiciones climáticas.
- Requiere que el agua no esté turbia.
- No cambia la calidad química del agua.
- No es útil para tratar grandes volúmenes de agua.

#### **3.2.2.3. Microorganismos patógenos que elimina el método SODIS.**

Los microorganismos son sensibles al calor. En la imagen 20 se presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 99.9% de los microorganismos y el calentamiento del agua a 50- 60°C durante una hora tiene el mismo efecto.

**Imagen 20. Resistencia térmica de microorganismos.**

Microorganismos	Temperatura para una desinfección al 100%		
	1 min.	6 min.	60 min.
Enterovirus			62°C
Rotavirus			63°C por 30 min
Coliformes fecales			
Salmonella		62°C	58°C
Shigella		61°C	54°C
Vibrio cholerae			45°C
Quistes de entamoeba histolytica	57°C	54°C	50°C
Quistes de giardia	57°C	54°C	50°C
Huevos y larvas de gusano ganchudo		62°C	51°C
Huevos de áscaris	68°C	62°C	57°C
Huevos de esquistosoma	60°C	55°C	50°C
Huevos de tenia	65°C	57°C	51°C

**Fuente. Wegelin Martin. 2002.**

### **3.2.3. TECNOLOGÍAS DE OXIDACIÓN AVANZADA PARA ELIMINACIÓN Y DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES.**

Existen diversos métodos para tratar el agua contaminada de forma eficiente por medio de tratamientos químicos o biológicos convencionales. Algunos de ellos resultan inadecuados para alcanzar los parámetros establecidos por la ley. En muchos países industrializados se están implementando las llamadas tecnologías o procesos avanzados de oxidación TAO<sub>s</sub>.

Uscanga Malesio. (2006), indica que la mayoría de las TAO<sub>s</sub> pueden aplicarse a la remediación y destoxificación de aguas especiales, generalmente en pequeña y mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales. De igual forma afirma que las TAO<sub>s</sub> se basan en procesos físico químicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Algunas TAO<sub>s</sub> como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.

Esta tecnología es muy útil en procesos de pretratamientos biológicos cuando se encuentran contaminantes resistentes a la biodegradación o en procesos de postratamiento para mejorar el proceso de oxidación de contaminantes.

Los procesos involucrados poseen un potencial de oxidación muy elevado dada la participación de radicales hidroxilo. Dichos radicales son poco selectivos y poseen propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar  $10^6 - 10^{12}$  veces más rápido que oxidantes alternativos como el ozono. (Uscanga Malesio 2006).

Para desarrollar estas tecnologías avanzadas de oxidación existen diversos procesos fotoquímicos y no fotoquímicos como los que se ilustran en la imagen 21.

#### **3.2.3.1. Ventajas y desventajas**

- Sirven para tratar contaminantes con muy baja concentración.
- No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.
- Son ideales para disminuir la concentración de compuestos formados por pretratamientos alternativos como la desinfección.
- Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.
- Mejoran las propiedades organolépticas del agua.
- Consume menos energía que otros métodos.
- Permite transformar contaminantes refractarios en productos tratables luego por métodos más económicos como el tratamiento biológico.
- No generan barros que requieran de un procesos de tratamiento
- Son muy útiles para contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico.
- Logra la destrucción del contaminante ya que oxida completamente la materia orgánica.

- No solo cambian de fase contaminante, sino que lo transforman químicamente.

Las TAO<sub>s</sub> no fotoquímicas originan especies reactivas potentes, principalmente el radical hidroxilo, a través de la transformación de especies químicas o mediante la utilización de distintas formas de energía, con excepción de la irradiación luminosa. Mientras que las TAO<sub>s</sub> fotoquímicas proporcionan ciertas ventajas extras que no se limitan al aprovechamiento de OH<sup>-</sup> como oxidante, como es el aumento de velocidad de reacción en comparación con la misma técnica en ausencia de luz. (Uscanga Malesio 2006).

**Imagen 21. Tecnologías avanzadas de oxidación TAO<sub>s</sub>.**

Tecnologías Avanzadas de Oxidación.	
<p><i>Procesos no fotoquímicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ozonización del medio alcalino (O<sub>3</sub>/OH<sup>-</sup>).</li> <li>▪ Ozonización con peróxido de hidrógeno (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).</li> <li>▪ Procesos Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y relacionados.</li> <li>▪ Oxidación electroquímica.</li> <li>▪ Radiólisis γ y tratamiento con haces de electrones.</li> <li>▪ Plasma no térmico.</li> <li>▪ Descarga electrohidráulica-Ultrasonido.</li> </ul>	<p><i>Procesos fotoquímicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oxidación en agua sub/y supercrítica.</li> <li>▪ Procesos fotoquímicos.</li> <li>▪ Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UUV).</li> <li>▪ UV/peróxido de hidrógeno.</li> <li>▪ UV/O<sub>3</sub>.</li> <li>▪ <b>Foto-Fenton y relacionadas.</b></li> <li>▪ <b>Fotocatálisis Heterogénea.</b></li> </ul>

**Fuente. Uscanga Malesio 2006.**

### 3.2.4. FILTRACIÓN LENTA

La filtración lenta es un método muy convencional y antiguo pero si se opera de una forma adecuada se puede ser considerado como un método de desinfección. Este sistema es netamente físico y biológico ya que destruye microorganismos patógenos del agua, constituyéndose como una tecnología limpia.

Durante el proceso, el agua que ingresa al filtro y permanece de 3-12 horas dependiendo de la velocidad de filtración, en este tiempo las partículas pesadas se

sedimentan y las que flotan se aglutinan. Gracias a la luz solar dentro del filtro se generan algas las cuales absorben dióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno que se forma se disuelve y reacciona con la materia orgánica y permite que se sean asimiladas por los microorganismos.

Según Solsona, Felipe y Mendez Juan (2006), en la superficie del medio filtrante se forma una capa constituida por material de origen orgánico, conocida con el nombre de “piel de filtro”, a través de la cual tiene que pasar el agua antes de llegar al propio medio filtrante. La piel de filtro o capa biológica está formada principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plankton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Las algas muertas, así como las bacterias vivas del agua cruda son también consumidas en este proceso, de igual forma remueve algo de color y una considerable proporción de partículas inertes en suspensión son retenidas por cernido. Una vez que el agua pasa a través del schmutzdecke, entra al lecho filtrante y es forzada a atravesarlo en un proceso que normalmente toma varias horas y en el que se desarrollan diversos procesos físicos y biológicos que constituyen el proceso final de purificación.

El mecanismo de acción de este filtro es muy sencillo, pues las partículas quedan atrapadas en las diferentes capas de arena del mismo permitiendo la remoción de partículas gracias a fuerzas electrostáticas, atracción de masas y acciones químicas que ocurren dentro de él permitiendo la inactivación o eliminación de microorganismos por medio de una película biológica la cual se genera en el interior del filtro permitiendo que los microorganismos más grandes como bacterias se alimenten de los más pequeños.

#### **3.2.4.1. Ventajas y desventajas**

- La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es

muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.

- No hay cambios organolépticos en la calidad del agua.
- El filtro lento sin pretratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 ó 30 UNT; esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.
- La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja.
- La presencia de biosidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.

### 3.2.4.2. Generalidades

La filtración lenta representa un método muy eficaz para la desinfección por ello sus aspectos más importantes se describen en la tabla 16, en la cual se resaltan sus características más relevantes y sus campos de aplicación en la actualidad.

**Tabla 16. Aspectos generales de la desinfección con filtración lenta**

Método	Filtración lenta por arena (FLA)
Aplicabilidad	Pequeñas poblaciones. En menor grado poblaciones intermedias
Mecanismo de acción	Eliminación de los microorganismos por acción de la capa biológica (“fagocitosis”) que recubre los granos de arena..
Equipos	Filtros lentos de arena, casi siempre confeccionados in situ, con hormigón, acero u otros materiales
Complejidad	Baja
Ventajas	Muy simple. Opera prácticamente solo. A la vez que desinfecta, elimina turbiedad del agua cruda. No cambia las propiedades organolépticas del agua. No necesita electricidad. No hay SPD
Desventajas	Para que trabaje efectivamente como un equipo de desinfección, debe estar muy bien construido; contar con la arena apropiada, bien clasificada y lavada; y operar bajo las condiciones de temperatura, caudal, velocidad de filtración, etc., adecuadas. No hay forma de medir la eficacia de la desinfección en forma simple y rápida. No hay residual
Disponibilidad	Alta. Los materiales para su construcción; y la arena, que es el corazón del sistema, se encuentran en casi cualquier lugar
Control analítico	No hay forma de medir la eficacia de la desinfección, salvo realizar un análisis bacteriológico
Recomendaciones	El método más antiguo de tratamiento de aguas, revitalizado como equipo desinfectante es una opción siempre válida para poblaciones rurales

### 3.2.5. DESINFECCIÓN MINIFILTRACIÓN.

Este método utiliza membranas especiales para llevar a cabo el proceso, el cual funciona bajo el principio físico de la filtración. Este proceso abarca las técnicas de

microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, cuya diferencia reside en el tamaño de los poros de la membrana filtrante. En tal sentido, la propiedad desinfectante de estas membranas depende de la capacidad que tengan para “retener” los microorganismos patógenos debido a que las dimensiones de estos son superiores al tamaño de los poros. Desde el punto de vista de la retención con capacidad de desinfección, la imagen 22 presenta los métodos y los diámetros del poro que retienen microorganismos. Los rangos presentados no son exactos, pero permiten dar una idea del rango relativo de cada uno de ellos.

**Imagen 22. Características de la minifiltración Métodos y diámetros del poro que retienen microorganismo.**

<b>FILTRO (membrana)</b>	<b>DIÁMETRO DE PORO Micrones (μ)</b>	<b>PRESIÓN (psi)</b>	<b>RETENCIÓN (sustancias filtradas)</b>
Ósmosis inversa	< 0,001	200 – 1.500	Sales, radicales libres
Nanofiltración	0,001 – 0,01	70 – 250	Azúcares, moléculas
Ultrafiltración	0,01 – 0,1	15 – 200	Coloides, virus
Microfiltración	0,1 – 0,2	10 – 50	Bacterias, quistes

**Fuente. Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002.**

### 3.2.5.1. Mecanismo de la desinfección con minifiltración

La desinfección en la minifiltración se alcanza al hacer pasar el agua que se va a tratar a través de la superficie de contacto de la membrana, donde las partículas del agua son retenidas o permeadas en función de su tamaño físico. Para ello se aplican diferencias de presión moderadas; la presión puede ser positiva cuando se aplica sobre el afluente y negativa (vacío) cuando se aplica sobre el efluente tratado. (Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002). Este proceso por ser netamente físico no genera ningún subproducto ya que no emplea compuestos químicos.

### 3.2.5.2. Ventajas y desventajas

**Ventajas:** No requiere el uso de compuestos químicos en la operación. Reduce la turbiedad, los sólidos suspendidos y parte del color del agua al eliminar las sustancias orgánicas. Reduce la presencia de precursores de trihalometanos que

puedan formarse con la cloración secundaria. Reduce los costos de operación y disposición. Permite mediciones más controladas y confiables, usa menos espacio y, maneja flujos y calidades constantes o variables. Las membranas para tratamiento de agua, pueden trabajar en continuo, ahorran energía, son fácilmente escalables y combinables con otros procesos. Remoción de hierro y manganeso debido a la oxidación de las formas hidrosolubles de estos elementos. Dado que son modulares, las plantas de membrana pueden construirse para tratar volúmenes tan pequeños como 40 l/minuto (suficiente para una población de 500 habitantes), pero actualmente también se están produciendo para plantas de tratamiento con flujos de hasta 1 m<sup>3</sup> /s. La mayor planta de nanofiltración en Europa al comienzo del milenio (Mery Sur Ouse, París) trata 1,6 m<sup>3</sup> /seg y sirve a 500.000 residentes.

**Desventajas:** Existen problemas de contaminación de los materiales de soporte en la microfiltración, en los cuales se producen incrustaciones y por tanto disminuyen la eficiencia del proceso. El proceso es simple y puede operar automáticamente, pero en caso de problemas es necesario recurrir a personal altamente capacitado que generalmente no se encuentra localmente. Los costos son mucho mayores que los de los métodos de desinfección más populares.

### 3.2.5.3. Generalidades.

Las generalidades de la de desinfección por minifiltración están descritas en la tabla 17, en ella se mencionan los aspectos más importantes con respecto a esta técnica.

**Tabla 17. Generalidades de la desinfección con minifiltración.**

Método	Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa
Aplicabilidad	Variada gama de posibilidades, aunque generalmente se utiliza para comunidades pequeñas e intermedias
Mecanismo de acción	Retención de microorganismos por filtración mecánica.
Equipos	Micro, ultra, nanofiltración y O.I. se diferencian por el diámetro del poro de la membrana filtrante. Los equipos varían según los pretratamientos, la forma de filtrar (dentro-fuera o fuera-dentro), las presiones ejercidas para favorecer la filtración y el tratamiento que se debe dar a las membranas. Casi siempre los equipos vienen en paquete
Complejidad	Alta. Si bien el sistema es filosóficamente muy simple, en la práctica los equipos son complejos
Ventajas	Provee agua de excelente calidad y la desinfección en realidad es un

	subproducto del tratamiento para mejorar la calidad del agua. No hay cambios organolépticos. No hay formación de SPD
Desventajas	Su complejidad. La necesidad de contar con personal de operación y mantenimiento bien capacitado. En caso de problemas, éstos son difíciles de solucionar con técnicos locales. No hay residual. Requiere electricidad
Disponibilidad	Muy baja. Los equipos se deben adquirir en países desarrollados
Control analítico	No hay forma de medir la eficacia de la desinfección, salvo realizar un análisis bacteriológico
Recomendaciones	Es una técnica interesante y con futuro, pero por el momento al igual que el ozono o el dióxido de cloro, solo son recomendables para los países en desarrollo por su complejidad y costos mucho más elevados que los métodos más populares

## 4. CONCLUSIONES

Para concluir el tema fue necesario analizar muchos documentos, libros, tesis, artículos entre otras fuentes de información las cuales fueron de gran importancia y ayuda, gracias a ello es posible definir cuáles son los métodos de desinfección efectivo del siglo XXI.

Teniendo en cuenta las diversas fuentes de información es importante resaltar que para la potabilización de agua es necesario implementar un sistema de desinfección primaria química ya sea cloro, ozono entre otros puesto que la norma así lo exige.

La combinación de varios métodos de desinfección, sean químicos o físicos, puede garantizar una mayor remoción o destrucción de microorganismos dependiendo del mecanismo de acción del desinfectante, los cuales fueron resistentes a los procesos anteriores de floculación, sedimentación y filtración.

Existen diversas formas y métodos de desinfección los cuales se pueden combinar ya sea ozono con luz ultravioleta, cloro y ozono entre otros, ya que estos se complementan de manera efectiva permitiendo la destrucción de microorganismos patógenos los cuales no fueron removidos en una desinfección primaria y el mecanismo de acción del desinfectante sobre los microorganismos es diferente para cada caso.

No se recomendable utilizar solo métodos de desinfección físicos para potabilización del agua debido a que estos no garantizan completamente la remoción de agentes patógenos y por ende la calidad del agua, para ello es necesario implementar un método químico como desinfectante primario, por otro lado así lo exige la norma.

El cloro es uno de los métodos más eficaces y económicos de desinfectar el agua pero, en este caso, como un segundo desinfectante efectivo es el ozono el cual es

un método práctico, factible y económico para comunidades de nivel de complejidad bajo y medio ya que los caudales que se pueden manejar con este método tienen que ser pequeños.

Una de las mejores opciones para optimizar la desinfección del agua potable son los métodos sinérgicos, estos se complementa haciendo más eficiente y efectiva la desinfección garantizando una buena calidad del agua. De la misma forma permiten mejorar la calidad de vida ya que es posible remover en mayor cantidad agentes patógenos perjudiciales para la salud evitando la proliferación de enfermedades las cuales son transmitidas por microorganismos presentes en el agua.

## 5. REFERENCIAS

Delgado, Lourdes. Gutiérrez, Fanny. *Beneficios de la desinfección secuencial con fotocatalisis solar seguida de cloro libre para el tratamiento de agua potable y residual*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. México. 2006.

E. Rocha. 2010. *Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas*. Desinfección y métodos de desinfección en el agua. Recuperado el 28 de agosto de 2016 de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/desinfeccion5.pdf> .

Vargas, Lidia. *Tratamiento de agua para consumo humano*. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I. Lima Perú 2004. Disponible en <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

López Cepero & González Adrián. *Diseño de un procesos de ozonificación por inyección Venturi para la eliminación de pesticidas presentes en un afluente a una estación de tratamiento de agua potable*. Tesis Ingeniería Química. Facultad de ciencias. Universidad de Cádiz. Cádiz España. 2011.

Rios, Danilo. *Riesgos biológicos y subproductos de la desinfección en el agua de bebida*. Tesis Magister ingeniería Ambiental. República Oriental del Uruguay. Uruguay. 2006.

Gordillo de Coss, Gerardo Enrique. *Investigación técnica y económica sobre la desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación*. Tesis Doctoral. E.T.S.I de caminos, canales y puertos. 2013.

Monroy Jennifer. *Propuesta de sistema de desinfección primaria con ozona en la red de suministro de agua potable de instituto de ingeniería de la UNAM*. Tesis Pregrado Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de México. México 2015.

Beutelspacher. Erwin, Calderón José. *Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua*. Tesis doctoral. Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico. Cuernavaca México. 2005.

Martínez. Frida, Rubio. Montserrat. *Adaptación del concepto de hiperozonización a una hidrolavadora y construcción del prototipo*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería mecánica. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de ingeniería y ciencias. México 2007.

Romero, Jairo. Segunda edición. 2005. *Calidad del agua*. Colombia. Escuela colombiana de ingeniería. Colombia.

Vázquez, Zkerly. *Análisis, diseño y construcción de reactores a escala para desinfección de agua potable con radiación UV*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería civil. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. México. 2005.

González Daniela. *Desinfección de semillas de alfalfa con luz ultravioleta de onda corta (UVC)*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería de alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingenierías y ciencias. México. 2006.

Mani, L. E. *Conservación de jugo de sandía aplicando irradiación ultravioleta de onda corta*. Tesis de pregrado. Licenciatura en ingeniería de alimentos. Universidad de las Américas Puebla México. 2003.

Wright, H.B.; Cairns, W.L. *Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta*. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva (1998). Disponible en la OPS/CEPIS.

Solsona, Felipe. Méndez Juan. 2002. *Desinfección del agua*. Cepis. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. División de salud y ambiente. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la salud. Pub 02.83. Primera edición. 2002.

Galal-Gorchev, H. *Guías de la OMS para la calidad del agua potable y evaluación de los riesgos para la salud vinculados con los desinfectantes y los SPD*. Trabajo presentado en la Publicación OPS/ILSI “La calidad del Agua potable en América Latina” (1996).

Reiff, F.;Witt, V. *Guía 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*. Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30 (1995).

Solsona, F. Water. *La desinfección de los suministros de pequeñas comunidades*. Capítulo de desinfección de aguas para el manual del IRC “Small Community Supplies” y disponible como separata en la OPS/ CEPIS (2001).

USEPA. *La tecnología de desinfección con luz ultravioleta en agua potable de aplicación – una visión de conjunto*. EPA 811-R-96-002 Washington, DC: EE.UU. Protección del Medio Ambiente Protección del medio ambiente Agencia, Oficina de Agua Subterránea y Agua Potable. 1996.

Pérez, Jaime. Cuarta edición. 2002. *Manual de potabilización del agua. Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos*. Universidad nacional de Colombia. Capítulo 7. Desinfección del agua. (Pp. 341-342). Colombia.

RAS 2000. *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II. Título C. sistemas de potabilización. Capítulo C.8. Desinfección*. Colombia. 2000.

Decreto 475 de 1998. *Reglamenta las normas de calidad de agua potable*. Ministerio de salud. Presidencia de la Republica. Colombia. Marzo 10 de 1998.

Decreto 1076 de 2015. *Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible*. Presidencia de la República. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia. 2015.

Resolución 2115 de 2007. *Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*.

Ministerio de la protección social. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Colombia. 2007.

Resolución 1096 del 2000. República de Colombia. Ministerio de desarrollo económico. *Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS*. Colombia. 2000.

De la cruz, Ignacio. *Desinfección de agua potable con radiación solar*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería civil. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. México. 2004.

González, Arturo. *Estudio de un colector solar de paredes planas para desinfectar agua*. XXVII congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Instituto mexicano de tecnología del agua. Cancún, México. 2002.

Solsona. Felipe, Méndez. Juan. *Desinfección del agua*. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. CEPIS. Primera edición. 2002.

Wegelin, Martin et. Guía de aplicación. *Desinfección solar del agua SODIS*. Publicado por EAWAG/SANDEC. Programa de tratamiento de agua. Suiza (2002).

Uscanga Malesio. *Desarrollo de sistemas de ahorro de energía en sistemas de desinfección de agua mediante el uso de energía solar*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería civil. Escuela de ingeniería y ciencias. Universidad de las Américas Puebla. México. 2006.

Lenntech Water- & Air treatment Holding B.V. 1993. *Desinfección*. Países bajos. Recuperado el 28 de agosto de 2016 de <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>.

Gilrein, Erica; Johnson, Sierra; Barraza, Antolin; Meier, Joseph; Varner, Megan; and Kindsvater, Shelby, "Wastewater Treatment in Parker, Colorado" (2015). Honors Theses AY 15/16. Paper 9. Disponible en: [http://repository.uwyo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=honors\\_theses\\_15-16](http://repository.uwyo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=honors_theses_15-16)

Mastache, Víctor. *Desinfección de agua mediante procesos avanzados de oxidación promovidos por radiación ultravioleta y visible utilizando materiales fotosensibles*. Tesis profesional. Licenciatura en ingeniería civil. Escuela de ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. México. 2010.

Calderón, José, Beutelspacher, Erwin. *Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua*. Tesis Doctoral. Maestro en ingeniería mecatrónica. Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico. Cuernavaca Morelos. México. 2005.

Ponce, Efraín. *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*. Tesis Profesional. Licenciatura en ingeniería civil. Universidad de las Américas Puebla. México. 2005