

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del Proyecto.

En México, al igual que en la mayoría de los países del mundo existe la problemática de la contaminación del agua, elemento indispensable para la vida humana. Buena parte de esta contaminación es de tipo microbiológico, ya que el agua puede transportar patógenos humanos importantes. La virulencia de estos microorganismos puede traducirse en enfermedades específicas y tan severas como el cólera. Ante esta situación se han explorado los más diversos métodos de desinfección físicos y químicos con el objetivo de controlar la ocurrencia de dichos patógenos en el agua.

No obstante, se ha demostrado que la eficiencia de los procesos tradicionales de desinfección de agua puede ser limitada y, en algunos casos, resultar ineficiente por completo. Por ejemplo, se ha encontrado que los ooquistes de *Cryptosporidium parvum* pueden resistir sin problema alguno a las dosis comúnmente empleadas para cloración de agua potable municipal.

Eventos epidémicos ocurridos en la década de los 90s en Norteamérica permitieron resaltar la importancia que los ooquistes de *C. parvum* tienen como contaminante de las aguas superficiales que se emplean para generar agua potable. A partir de entonces, este patógeno se utiliza como referencia para diseñar los procesos de desinfección de agua potable en países desarrollados.

En México, los procesos de desinfección de agua potable municipal se basan esencialmente en el uso de cloro. A pesar de su comprobada ineficacia para controlar a algunos patógenos, la desinfección con cloro del agua potable ha sido aceptada y utilizada

en todo el mundo. Debe reconocerse que su efectividad para inactivar microorganismos y bacterias dañinas para la salud es alta, disminuyendo así la ocurrencia de enfermedades tales como la salmonelosis, hepatitis A y cólera desde hace 80 años. La Organización Mundial de la Salud promueve el uso de cloro residual activo en agua potable con un promedio de 0.3 mg/L. Este valor busca perseverar la calidad del agua tratada (Castro de Esparza, 1992).

Por otra parte, se sabe que el uso de desinfectantes clorados puede resultar en la generación de productos secundarios de toxicidad muy variada. Algunos estudios realizados en los años 30s y finales de los 40s reportan que aguas cloradas y consumidas provocaron cuadros de asma en aquellos consumidores de las mismas. El mismo investigador informó posteriormente sobre un grupo de personas que consumieron agua clorada en alta proporción, la cual había estado en proceso de desinfección durante varios meses, sin que presentaran síntomas negativos (Castro de Esparza, 1992).

En la búsqueda de alternativas desinfectantes para controlar *C. parvum*, se han realizado investigaciones a partir de utilizar ozono (O_3) como inactivador de este microorganismo y se ha comprobado que dicho oxidante puede desactivarlo. Unos de los compuestos intermedios que se producen durante la ozonización, y principales responsables del efecto germicida de este proceso, son los radicales OH^\bullet (Domènech et al., 2001). El ozono es además utilizado para controlar olor, sabor y color del agua. Se sabe que es un oxidante fuerte, de vida útil muy corta, que resulta muy eficaz en la eliminación de virus y que no produce subproductos como THM y AHA (Trihalometanos y Ácidos Halo Acéticos, respectivamente). No obstante, la ozonización puede resultar en la generación de otros subproductos secundarios tóxicos tales como bromatos y cianuros, entre otros (Bulí y Kopfler, 1991).

En años recientes se ha propuesto el uso de fotocatalisis solar como desinfectante de agua potable. Siendo que la radiación solar es una fuente natural y gratuita de energía se presenta como una opción interesante su posible uso como desinfectante de agua potable. La fotocatalisis solar es un proceso avanzado de oxidación (PAO) que, como su nombre lo señala, requiere de la presencia de un catalizador.

El principal efecto que produce la incidencia de la radiación solar sobre este “catalizador” es la generación de radicales libres tales como los producidos durante la ozonización. Sin embargo, el costo nulo de la fuente de energía en el caso de la fotocatalisis solar aunado a eficiencias germicidas significativas puede resultar muy interesante para los organismos operadores de agua.

El proyecto tiene como principal objetivo evaluar la eficiencia de la energía solar fotocatalizada para inactivar esporas de *Bacillus subtilis*, las cuales pueden emplearse como indicadores de *C. parvum*.

Se hará uso de procedimientos de laboratorio estandarizados, tanto para la preparación de materiales y soluciones como para el manejo y análisis de muestras de microorganismo.

Inicialmente se estudiarán los conceptos básicos de los tópicos a utilizar (Capítulo 1). Se revisarán las características principales de la energía solar, sus usos y aplicaciones como alternativa en la desinfección química. Se analizarán las ventajas y desventajas de la desinfección química, los desinfectantes comúnmente usados y las nuevas alternativas. Se revisarán estudios anteriores acerca de la energía solar fotocatalizada como desinfectante, su aplicación en diferentes microorganismos patógenos, sus resultados y conclusiones. Se estudiarán los microorganismos patógenos e indicadores relevantes en el tratamiento de

agua, los diferentes tipos de ellos, su evolución, sus daños a la salud, dónde se presentan y su capacidad resistente los procesos de desinfección.

En el Capítulo 2 se describen a detalle los materiales y métodos que se emplearán en la fase experimental de este trabajo de tesis. La preparación de esporas de *Bacillus subtilis*, la preparación de materiales y soluciones de prueba, el procedimiento de desinfección con fotocatalisis solar y, por último, la determinación de la viabilidad de esporas de *Bacillus subtilis*.

En el Capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos, así como su correspondiente discusión. Primero, el efecto de la energía solar simple como inactivador, segundo, el efecto de la energía solar en presencia de un catalizador y tercero, el efecto del pH en la inactivación de muestras de microorganismos. La etapa final serán las conclusiones de nuestro proyecto en estudio.

1.2 Características de la energía solar.

Una de las fuentes principales de energía para el desarrollo de la vida en el planeta es la radiación solar. Como se ilustra en la Figura No. 1, la radiación solar se conforma de una fracción ultravioleta, otra visible y además una infrarroja.

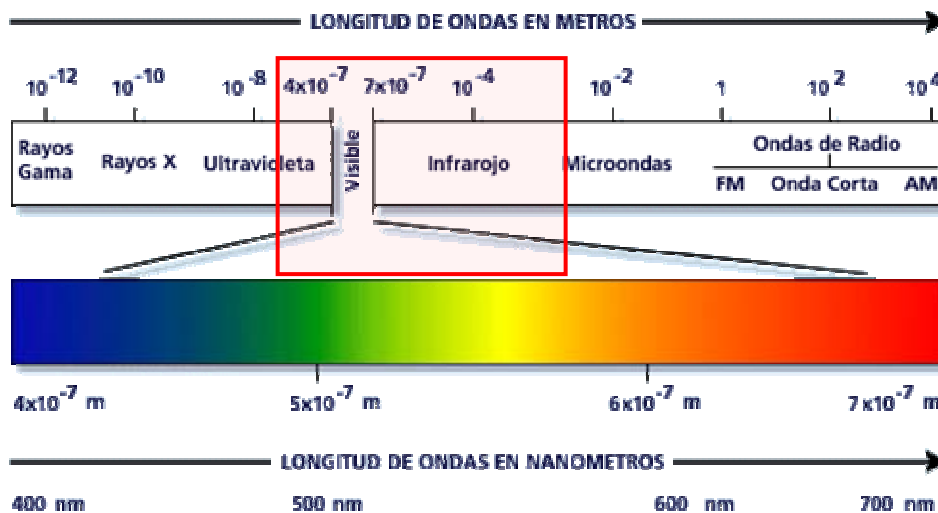


Figura 1.1 Zonas del Espectro Solar con sus Características Asociadas de Longitud de Onda. (Zuloaga et al., 1999)

La radiación ultravioleta tiene capacidad germicida y comprende a toda aquella emitida con longitud de onda entre 320 y 400 nm. Sin embargo, la fracción UV contenida en la radiación solar es limitada.

Sumada a esta capacidad de la radiación UV aparece otra, el calor, la fracción infrarroja, que puede producir altas temperaturas y contribuir de alguna manera al proceso de desinfección del agua.

La radiación UV no es visible a la vista humana, a la vez puede ser dañina a la salud provocando daños en la piel y en los ojos. La capa de ozono de la atmósfera auxilia en la absorción de esta radiación perjudicial, los llamados rayos UV-C y UV-B encontrados en el rango entre 200 y 320 nm. Sólo la traspasan los ya mencionados rayos UV-A. Estos rayos son los que provocan un efecto fatal en los microorganismos patógenos encontrados en el agua potable, y por lo tanto, la luz solar posee el potencial para desactivar a este tipo de microorganismos.

Como se observa en las Figuras 1.2 y 1.3, la intensidad de la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre puede variar dependiendo de la localización geográfica. A diferentes latitudes dicha radiación varía, en la zona Norte y Sur (cercana a los Polos) del planeta la intensidad de la luz solar es baja, mientras que en la zona del Ecuador la intensidad es alta y llega a su máximo nivel en zonas de poca nubosidad y precipitación, las cuales son características climáticas que aumentan o disminuyen su facilidad de impacto sobre la superficie terrestre.

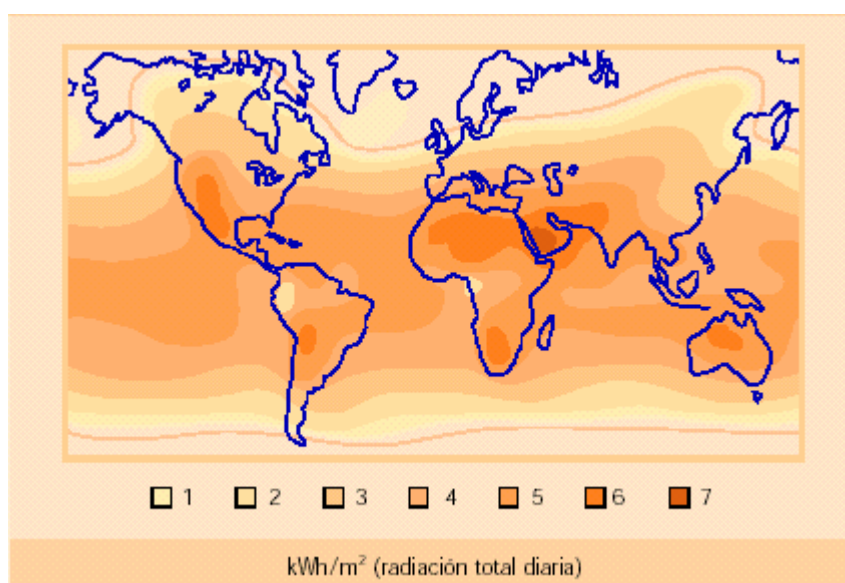


Figura 1.2 Radiación Solar Diaria en Diferentes Regiones Geográficas.
(Meierhofer y Wegelin, Junio 2003)

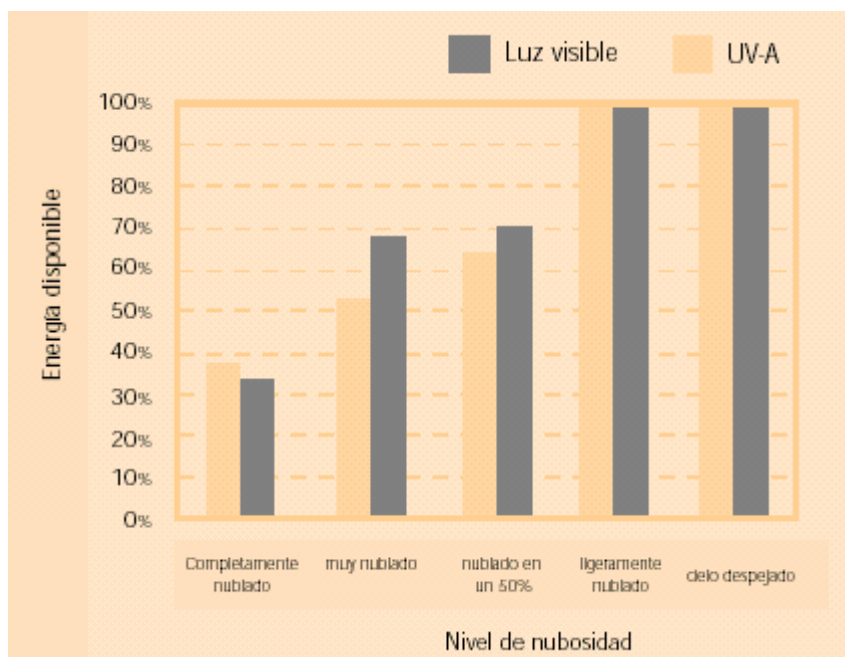


Figura 1.3 Pérdida de Energía Solar en Diferentes Condiciones Climáticas.
(Meierhofer y Wegelin, Junio 2003)

Como se observa, la intensidad de la luz solar, y por tanto de radiación UV, puede verse incrementada o disminuida dependiendo de la posición geográfica y los factores climáticos presentes en dichas regiones donde este tipo de energía es utilizada como desinfectante de agua potable o en otro tipo de usos y aplicaciones.

1.3 Fundamentos de la Desinfección Química.

Para cumplir eficientemente su función, un desinfectante de agua debe:

- 1) Eliminar microorganismos patógenos.
- 2) Evitar que el agua se convierta en una sustancia tóxica y peligrosa para la salud.
- 3) Producir, preferentemente, un efecto residual para preservar la calidad del agua tratada.
- 4) Ser de fácil uso y aplicación.

Dicha efectividad del desinfectante se mide como la relación entre el tiempo de exposición contra el porcentaje de microorganismos inactivados, en condiciones y parámetros específicos, estas condiciones y parámetros pueden variar dependiendo del tipo de microorganismo a inactivar.

Los factores que determinan el diseño de un proceso de desinfección del agua son los siguientes:

- 1) Tiempo de inactivación;
- 2) Temperatura, a mayor temperatura será menor el tiempo y más efectivo el proceso;
- 3) pH (potencial de hidrógeno), existe un valor óptimo de este factor para un tipo de patógenos, mientras que para otros, los valores más altos y bajos de pH son los idóneos para el proceso de desinfección, en otras palabras, el potencial de hidrógeno dependerá del tipo de patógeno a eliminar; y por último,
- 4) Tipo y número de organismos, como ya se menciona, la cantidad de microorganismos influirá en el tiempo del proceso, mientras que el tipo de estos influirá en el tipo de desinfectante a utilizar.

Se puede dividir la desinfección del agua en dos maneras: *natural* y *artificial*. La desinfección *natural* es debida a agentes naturales (luz solar, sedimentación, estabilización de materia orgánica y filtración en el suelo arenoso, entre otros) los cuales gradualmente eliminan los microorganismos patógenos. Por otro lado, en la desinfección *artificial* involucra el uso de componentes químicos y físicos.

Dentro de los agentes físicos se encuentran la radiación UV y el calor. Diversos estudios han demostrado la elevada eficiencia de la radiación UV para inactivar bacterias y protozoarios generalmente resistentes. Presenta como principal desventaja el no provocar efecto residual (sólo adicionando agentes químicos). Por su parte, el calor no es aplicable a

plantas de tratamiento de agua, de manera común su uso es doméstico; teóricamente elevando la temperatura del agua al punto de ebullición provoca la destrucción de cualquier compuesto orgánico peligroso para la salud. Por otro lado, este proceso puede provocar un sabor desagradable en el agua.

Entre los desinfectantes químicos se encuentra el más usado dentro de los tratamientos de purificación: el cloro. El proceso de cloración se caracteriza por ser de fácil aplicación, alta eficiencia, bajo costo y dejar un efecto residual cuantificable. Sin embargo, es un elemento corrosivo y produce compuestos peligrosos para la salud, como el triclorometano, además de provocar un sabor desagradable al agua.

El cloro libre (Cl_2 , HOCl , OCl^-) puede utilizarse en conjunto con sales provenientes del mismo, tales como el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio, también comúnmente usados en el proceso de desinfección, como parte de un tratamiento de purificación. La diferencia entre estos compuestos y el elemento se basa en su valor de pH, además de que su aplicación depende también del volumen de agua a tratar, desde plantas de tratamiento grandes a pequeñas.

Otros desinfectantes químicos son las *cloraminas*, que se producen por la reacción de cloro con amoníaco. De sus especies se distingue la monocloramina (NH_2Cl) como la utilizada para la desinfección del agua potable. Su eficiencia resalta de otros desinfectantes debido a la presencia de un efecto residual ya que evita la producción de compuestos orgánicos en tanques de almacenaje y en las redes de agua potable. La desinfección de agua con NH_2Cl produce menores concentraciones de THMs que aquella con cloro libre.

Igualmente partiendo del cloro, aparece el *dióxido de cloro*, caracterizado por ser un buen oxidante. A diferencia del cloro libre, el ClO_2 no produce triclorometano, pero sí

compuestos peligrosos capaces de desencadenar anemia tales como los cloritos (ClO_2^-) y cloratos (ClO_3^-).

También se encuentra el ozono, elemento inestable, sólo producido *in situ*. Eficiente en cantidades pequeñas para la inactivación de microorganismos patógenos, además de protozoarios, bacterias y virus. No tiene efecto residual. Puede producir compuestos bromados.

Existen otros métodos, como la aplicación de permanganato (KMnO_4), obtenido a partir del dióxido de manganeso, que es utilizado en el control de sabor y olor, en la desaparición de compuestos orgánicos encontrados en las plantas de tratamiento. Inhibe también el desarrollo de bacterias y virus.

Como se puede observar, existen diversos métodos químicos de desinfección, los cuales presentan sus ventajas y desventajas. Los comúnmente usados pueden provocar la aparición de compuestos dañinos para la salud, pueden no presentar efectos residuales, lo cual provocaría el uso de un segundo desinfectante.

1.4 Energía solar fotocatalizada como desinfectante.

En algunos países se han implementado Tecnologías o Procesos Avanzados de Oxidación (TAOs, PAOs) pero desafortunadamente no han tenido la promoción adecuada en zonas críticas donde pueden beneficiar o promover una mejor calidad en el tratamiento de agua potable. Estas tecnologías pueden utilizarse en la desinfección de pequeñas cantidades de aguas contaminadas, ya sea por métodos sencillos o combinados. Una de las características elementales que elevan la calidad de los TAOs es la de utilizar un proceso fisicoquímico capaz de alterar de manera significativa a los contaminantes en su estructura (Domènech et al., 2001).

Uno de los procesos avanzados de oxidación es la Reacción Foto-Fenton, que, al igual que la radiólisis y otras tecnologías, hace uso de agentes químicos capaces de provocar cambios en contaminantes resistentes a la oxidación.

Los procesos avanzados de oxidación pueden clasificarse en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos como se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.1 Cuadro de Tecnologías Avanzadas de Oxidación.

Tecnologías avanzadas de oxidación	
No Fotoquímicos	Fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none"> - Ozonización en medio alcalino - Ozonización con peróxido de hidrógeno - Procesos Fenton y relacionados - Radiólisis γ y tratamiento con haces de electrones - Oxidación electroquímica - Plasma no térmico - Descarga electrohidráulica - Ultrasonido 	<ul style="list-style-type: none"> - Oxidación en agua sub/y supercrítica - Procesos fotoquímicos - Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío - UV/peróxido de hidrógeno - UV/O₃ - Foto-Fenton y relacionadas - Fotocatálisis heterogénea

Fuente: Domènech et al., 2001.

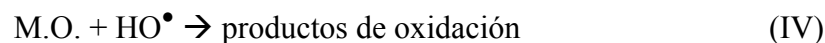
Las tecnologías fotoquímicas presentan ventajas que se enumeran a continuación:

- 1) Utilización de procesos fotolíticos de manera directa, sin hacer uso de reactivos químicos.
- 2) Incrementa la velocidad de reacción, al contrario que la ausencia de luz.
- 3) El pH de la solución irradiada no sufre cambios importantes.
- 4) Variedad en el uso de oxidantes y factores de operación.
- 5) Reduce costos de operación.

La fotocatalisis solar aparece como una nueva alternativa en el proceso de tratamiento de agua, al poder trabajar con una fuente de energía natural en ayuda de un

catalizador. Dichas características la promueven como un proceso más viable en comparación de otros, tal es el caso del cloro, proceso más común en la potabilización del agua.

El método Foto-Fenton es un proceso avanzado de oxidación que consiste en el uso del reactivo Fenton junto con la radiación UV/visible con la finalidad de aumentar la tasa de degradación de compuestos orgánicos. La solución acuosa de peróxido de hidrógeno e iones ferrosos forman el reactivo Fenton, esta solución genera una fuente de radicales hidroxilo significativa. Una ventaja de este proceso es su alta sensibilidad a la luz, llegando a una longitud de onda de 580nm (Sánchez, 2003).



El desarrollo de este método requiere condiciones ácidas, además de requerir la constante adición de peróxido de hidrógeno y evitar la degradación de éste.

Para el proceso Foto-Fenton se utiliza un catalizador compuesto por FeSO_4 y H_2O_2 , tal compuesto actúa de manera inmediata en presencia de radiación solar. La interacción entre un ión ferroso y peróxido de hidrógeno genera radicales hidroxilo, posteriormente el metal oxidado y otra molécula de peróxido de hidrógeno generan un compuesto y otro radical hidroxilo, este compuesto en presencia de luz genera radicales hidroxilo nuevamente y el ión ferroso utilizado al principio del proceso, renovando y dando continuidad al ciclo. La materia orgánica en presencia de radicales hidroxilo se oxida y en ciertos casos puede ser destruida completamente.

Tabla 1.2 Ventajas de Foto-Fenton

La reacción de Fenton aumenta su eficiencia por iluminación debido a varios factores:
<ul style="list-style-type: none">• La fotólisis de hidroxocomplejos de Fe^{3+} es una fuente adicional de HO^\bullet, ecuación (III) anterior a este cuadro. El rendimiento cuántico de esta reacción es bajo pero aumenta a longitudes de onda menores.• Permite el uso de longitudes de onda desde 300 nm hasta el visible.• Las concentraciones de Fe^{2+} a emplearse pueden ser órdenes de magnitud menores que en la reacción de Fenton convencional.• Si se usan radiaciones menores que 360 nm, se puede aprovechar la producción de HO^\bullet por fotólisis del H_2O_2. $\text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2 \text{HO}^\bullet$

Fuente: Domènech et al., 2001.

La reacción de Fenton también se lleva a cabo sin la presencia de radiación UV/visible, es decir, la reacción entre metal y oxidante es factible y provoca daños a la materia orgánica presente en la solución en ambientes oscuros. A este proceso se le ha denominado *Dark-Fenton* o *Fenton en la oscuridad*. Se ha observado en estudios realizados la oxidación de ácidos y compuestos orgánicos a partir de la acción inactivadora de este método.

1.5 Microorganismos relevantes en el tratamiento de agua potable.

1.5.1 Microorganismos patógenos.

La presencia de microorganismos patógenos en el agua potable puede ser provocada tanto por el ser humano como por contaminación con desechos animales. Estas partículas resultantes de la descomposición orgánica se introducen en el subsuelo y llegan a la zona de mantos acuíferos de donde se abastece a las poblaciones de agua potable. Otro medio por el

cual pueden aparecer estos microorganismos en el agua es el drenado de las redes de aguas sanitarias de hogares e industrias, donde se vierte agua sin algún tratamiento anterior, es decir, dicho depósito de contaminantes logran perjudicar igualmente los mantos acuíferos antes mencionados.

Los principales microorganismos patógenos que pueden encontrarse en el agua de mencionan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Agentes potenciales infecciosos presentes en agua potable no tratada.

Microorganismo		Enfermedad	Observaciones
Bacteria:	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis	Diarrea
	<i>Escherichia coli</i> (<i>enteropathogenic</i>)	Gastroenteritis	Diarrea
	<i>Legionella pneumophila</i>	Enfermedad de los Legionarios	Fiebre, dolor de cabeza, problemas respiratorios
	<i>Leptospira (spp.)</i>	Leptospirosis	Enfermedad de Weil, fiebre, ictericia
	<i>Salmonella</i> (~2100 serotypes)	Salmonelosis	Intoxicación por alimentos
	<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre Tifoidea	Fiebre, diarrea, úlcera en intestino delgado
	<i>Shigella</i> (4spp.)	Shigellosis	Disentería bacilar
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarrea extremadamente fuerte, deshidratación
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis	Diarrea	

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003.

Tabla 1.3 Agentes potenciales infecciosos presentes en agua potable no tratada. (Concluye)

Microorganismo		Enfermedad	Observaciones
Protozoarios:	<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiosis	Diarrea
	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Ciclosporiasis	Diarrea severa, calambres en el estómago, náuseas, vómito
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amébrica)	Diarrea prolongada con sangrado, abscesos en el intestino grueso y delgado
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea ligera a pesada, náuseas, indigestión.
Helmintos:	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Infestación de ascárides
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiasis	Gusano filiforme
	<i>Fasciola hepatica</i>	Fascioliasis	Zoonosis parasitaria altamente prevalente
	<i>Hymenolepis nana</i>	Hymenolepiasis	Solitaria enana
	<i>Taenia saginata</i>	Taeniasis	Solitaria de res
	<i>T. solium</i>	Taeniasis	Solitaria de puerco
	<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis	Anquilostomas duodenales
Virus:	Adenovirus (31 tipos)	Problemas respiratorios	
	Enterovirus (+ de 100 tipos)	Gastroenteritis, problemas en el corazón, meningitis	
	Virus Hepatitis A	Hepatitis infecciosa	Fiebre, ictericia
	Gente Norwalk	Gastroenteritis	Vómito
	Parvovirus (2 tipos)	Gastroenteritis	
	Rotavirus	Gastroenteritis	

Fuente: Metcalf y Eddy, 2003.

Bacterias. Aquellas del tipo vegetativo resultan fáciles de eliminar con los procesos convencionales de desinfección. No obstante, aquellas capaces de esporular son sumamente resistentes a dichos procesos.

Protozoarios. Los quistes protozoarios, o quistes de amibas, se colocan como los segundos microorganismos patógenos más resistentes al proceso de desinfección. Se caracteriza por su alta resistencia al pH (llegando a niveles altos de 13 y bajos de 1). Estudios realizados anteriormente han comparado su resistencia con otro tipo de bacterias, por ejemplo: los protozoarios pueden ser hasta ~160 veces más resistentes que *E. coli* y 9 veces más que los virus más fuertes incluso a la desinfección con cloro libre. Sus puntos débiles son la temperatura, siendo sensibles al calor, y a 50°C se destruyen en periodos de hasta 2 minutos.

Virus entéricos. Encontramos: poliovirus, coxsalievirus y ecovirus. Estos tipos de virus se destacan por su alta resistencia a la desinfección química gracias a su escasez de sistemas sensitivos como las enzimas, esto debido por ácido nucleico rodeado de una corteza proteínica (Arboleda, 2000). Estos microorganismos pueden ser eliminados haciendo uso de altas temperaturas y algunas sustancias químicas con la habilidad de desintegrar la corteza proteínica antes mencionada. De manera más intensa y rápida en virus de limitada capacidad resistente dicha capa se encuentra expuesta de manera directa a los agentes desinfectantes.

1.5.2 Microorganismos indicadores.

Anteriormente se identificaron los microorganismos patógenos que pueden existir en el agua potable. Ahora se procede a revisar cada uno de los mismos para identificar

aquel patógeno que sirva como parámetro en la elección de un sistema de desinfección, un proceso o alguna sustancia química que cumpla con este objetivo.

Estudios han demostrado que el *Cryptosporidium parvum* y *Giardia* son los dos microorganismos más resistentes a los procesos de desinfección química, aunque estos mismos muestran alta sensibilidad al proceso de desinfección por radiación UV. Este punto hace suponer que, al igual que son vulnerables a la radiación ultravioleta, lo sean también a cualquier otro tipo de radiación, tal como la radiación solar. Dada esta situación desfavorable no pueden ser tomados como indicadores relevantes para este proceso de estudio.

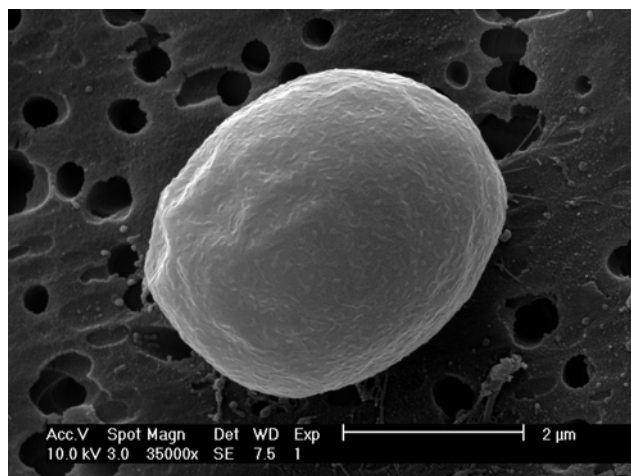


Figura 1.4 Fotografía de *Cryptosporidium p.* tomada en microscopio electrónico.

Después de eliminar a los microorganismos patógenos que mostraban mayor resistencia a la desinfección química, se procede en la búsqueda de un tipo de microorganismo que sea un buen parámetro en la aplicación de radiación solar al mismo, es decir, el proceso de desinfección del cual se basa este estudio de investigación. Finalmente se hizo la elección de las esporas de *Bacillus subtilis*. Estudios realizados anteriormente han demostrado que este tipo de microorganismos son altamente resistentes a la radiación UV y UV/visible, además de no ser patógenos y fáciles de cultivar en laboratorio, condiciones requeridas para su elección.

1.5.2.1 *Bacillus subtilis* en estado vegetal.

El *Bacillus subtilis* es una bacteria Gram-positivo encontrada comúnmente en la tierra. Es miembro del gen *Bacillus*. Tiene la habilidad de formar una capa, espora protectora, que permite al microorganismo resistir condiciones ambientales extremas. No es considerado un microorganismo patógeno, es decir, no afecta la salud humana, su posible presencia contaminante en alimentos raramente provoca enfermedades. En estado de esporas puede sobrevivir a temperaturas extremas de calor junto con otras características del mismo estado.

Como modelo de organismos el *B. subtilis* ha demostrado su accesible manejo genético lo cual ha provocado su adopción como modelo de organismo para estudios de laboratorio, especialmente en el proceso de esporulación. Su mayor utilidad dentro de estudios de laboratorio es su equivalencia con *Escherichia coli*.

1.5.2.2 Esporas de *Bacillus subtilis*.

El proceso de esporulación que se lleva a cabo en el *Bacillus subtilis* en estado vegetal provoca la formación de esporas del mismo microorganismo.

Cuando una bacteria detecta condiciones ambientales desfavorables ésta puede iniciar el proceso de esporulación, cuya finalidad de este proceso es la degradación de toda materia vegetativa de la célula.

La esporulación o diferenciación celular puede provocar cambios en el tamaño, la forma, la polaridad y la actividad metabólica de la célula, activar o inactivar genes de la misma, y en un número menor de microorganismos cambiar su materia genética.

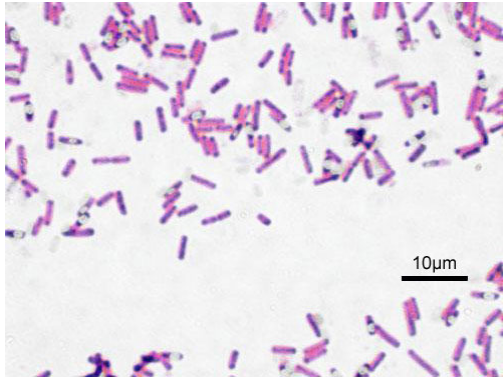


Figura 1.5 *Bacillus subtilis* en estado vegetal.
(Madigan y Martinko, 2005)

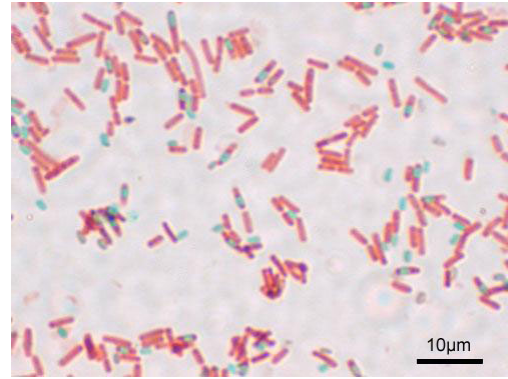


Figura 1.6 Esporas de *Bacillus subtilis*.
(Madigan y Martinko, 2005)

La función principal de las esporas es asegurar la supervivencia de la bacteria durante periodos de estrés ambiental. Son resistentes a las radiaciones UV y gamma, temperatura, desinfectantes químicos, entre otros procesos. Las esporas son comúnmente encontradas en la tierra y el agua, donde puede sobrevivir durante largos periodos de tiempo.

La espora tiene una capa impermeable a varias moléculas tóxicas y esta capa también contiene enzimas que están involucradas con la germinación de la célula. Son resistentes a la mayoría de los agentes que normalmente degradarían la materia vegetal del mismo microorganismo.

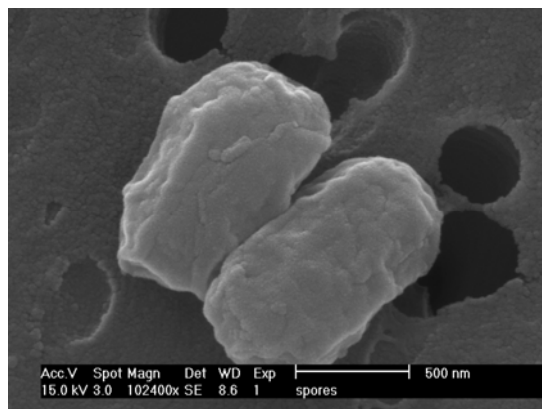


Figura 1.7 Fotografía de Dos Esporas de *Bacillus subtilis* tomada en Microscopio Electrónico.