

INTRODUCCIÓN

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL AGUA

1.1. Características de las bacterias

1.2. Características de los virus

1.3. Otros microorganismos

INTRODUCCIÓN.

El estudio de los procesos relacionados con la presencia de microorganismos en el subsuelo esta siendo objeto de un interés creciente por parte de la comunidad científica, contemplándose dos vertientes, por un lado la presencia de microorganismos como constituyentes no deseables del agua (caso de microorganismos patógenos) y por otro su importancia en la química del agua y depuración de los compuestos contaminantes

La presencia de microorganismos en el agua subterránea no es necesariamente consecuencia de una contaminación, de hecho existen microorganismos en todos los hábitats de la biosfera, sin embargo las características especiales de este medio, sometido a condiciones ambientales muy diferentes a las que se encuentran en las aguas superficiales, y además carente de luz y aportes de materia orgánica -salvo en casos excepcionales- hacen que la población microbiana de las aguas subterráneas sea escasa y con unas características especiales.

Esta publicación pretende servir de introducción a los técnicos del agua subterránea en el campo de la microbiología y a los microbiólogos en el de las aguas subterráneas y, sin entrar en un tratamiento excesivamente técnico o científico, proporcionar las bases necesarias para poder consultar y entender la bibliografía especializada

Juan Antonio López Geta.

Director de Aguas Subterráneas y Geotécnia

1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL AGUA

El agua es sin duda imprescindible para la supervivencia de todos los seres existentes sobre nuestro planeta, en ella tuvo origen la vida y sin su presencia ninguna reacción biológica tendría lugar. Por tanto, desde el comienzo, la evolución ha ido creando multitud de formas adaptadas a vivir en este elemento y en las más diversas condiciones, desde las frías aguas glaciares cercanas a su punto de congelación a las aguas hirvientes de manantiales termales, de aguas puras de alta montaña a lagos salados, aguas superficiales y aguas subterráneas, todas contienen o pueden contener alguna forma de vida.

Los microorganismos que pueblan las aguas constituyen un grupo extraordinariamente heterogéneo. Se agrupan bajo la denominación de protistas debido a su sencilla organización. Se pueden diferenciar los protistas inferiores y superiores.

Protistas inferiores. Archeobacterias, Bacterias, Cianobacterias

Protistas superiores. Protozoos, Hongos, Algas

Los protistas inferiores son procariotas, es decir no poseen estructuras celulares aisladas por membranas como las mitocondrias y tampoco poseen un núcleo diferenciado.

Los protistas superiores son eucariotas, poseen mitocondrias, un núcleo diferenciado y una gran variedad de orgánulos celulares aislados o formados por membranas. Las células de animales y plantas también son eucariotas.

Los virus son acelulares, por lo que no pueden ser clasificados según estos criterios y se verán más adelante como un sistema organizado totalmente diferente.

A continuación se hace una breve descripción de los microorganismos que habitan las aguas y en especial los que pueden encontrarse en el agua subterránea.

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS BACTERIAS.

Las bacterias son los microorganismos más pequeños que contienen la maquinaria necesaria para crecer y multiplicarse. Se trata de organismos primitivos, de estructura sencilla que han sido capaces de poblar todos los hábitats terrestres. Son por ello un grupo muy heterogéneo con muy diferentes necesidades nutricionales y energéticas.

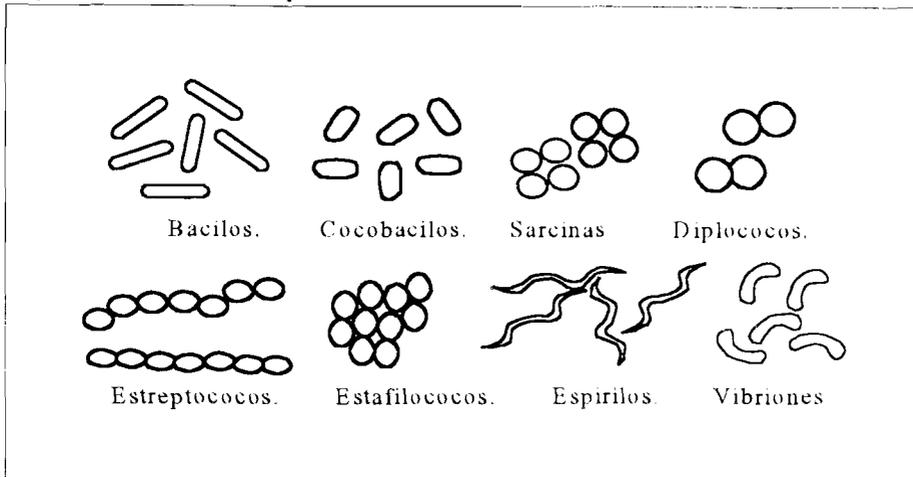
Hasta el desarrollo del microscopio electrónico no se pudo observar la estructura interna de las bacterias, consideradas hasta entonces como simples contenedores de enzimas sin estructura alguna, poseen una membrana celular que regula el intercambio de nutrientes y desechos con el exterior, y lo que es característico de este grupo, una pared celular rodeando a la membrana, útil en medios de baja presión osmótica evitando

que estalle la célula. Sin embargo carecen de núcleo y de otros órganos rodeados por membrana (como las mitocondrias).

Presentan estructuras especiales como pelos, flagelos, fimbrias, etc, que facilitan su movimiento y adherencia. Bacterias

carentes de estas estructuras son capaces de moverse mediante un mecanismo parecido a la reptación

Figura 1.1.- Formas típicas de bacterias



Algunas bacterias están rodeadas por una sustancia viscosa denominada "cápsula", puede ser un

Las dimensiones más frecuentes de estos organismos oscilan entre 0,5 - 1 por 2 - 5 μm . Para hacerse una idea de lo que este tamaño representa, se puede poner el ejemplo de que en un centímetro cúbico caben aproximadamente un millón de billones de bacterias de tamaño medio. Consecuencia de este pequeño tamaño es la elevada relación superficie - volumen de estos seres, lo que explica el rápido intercambio de sustancias con el exterior y por ello su gran velocidad de desarrollo

depósito de sustancias nutritivas de reserva e incluso productos de desecho. La presencia de cápsula es determinante, en algunas bacterias infecciosas, al impedir la acción de los fagocitos. El desarrollo de bacterias con cápsula mucosa ha producido graves problemas de colmatación de filtros en sondeos

La forma de las bacterias es variada, (figura 1.1) pueden ser esféricas (cocos), alargadas como un bastón (bacilos), con forma de estrella, de espiral (espirilos), comas, anulares, etc. También se encuentran agrupadas, normalmente en cadenas más o menos ramificadas (estreptococos, estafilococos, diplococos)

Algunos generos (*Bacillus* y *Clostridium*) presentan la capacidad de producir esporas extraordinariamente resistentes a las condiciones ambientales y agentes desinfectantes.

Sus necesidades nutricionales y energéticas son muy variables. Existen grupos fotoautótrofos (obtienen la energía de la luz solar, como las clorobacterias y bacterias púrpura), quimioautótrofos (la obtienen de reacciones químicas, como azobacterias, sulfobacterias, siderobacterias), aunque en

su mayor parte son heterótrofas (obtienen la energía de la materia orgánica)

Los elementos necesarios para el desarrollo de los microorganismos se agrupan en dos categorías: elementos mayoritarios (C, O, N, P, S, K, Na, Ca, Fe) y elementos minoritarios o traza, necesarios solo en cantidades muy pequeñas (Mn, Mg, Cu, Sn, Mo). El carbono, necesario para la fabricación de metabolitos intermedios y en general para los esqueletos carbonatados se obtiene del CO₂ o de los compuestos orgánicos. El azufre, necesario para la síntesis de aminoácidos y proteínas, se obtiene de compuestos orgánicos azufrados o de sulfatos y sulfuros. El fósforo, empleado principalmente en la síntesis de fosfolípidos se obtiene de compuestos inorgánicos (fosfatos)

Dentro del grupo de las bacterias heterótrofas se encuentran los agentes causantes de enfermedad en el hombre, animales y plantas, constituyendo además la mayor parte de la población microbiana que nos rodea. En el agua se encuentran principalmente bacterias Gramnegativas, caracterizándose por ser capaces de vivir en medios oligotróficos (con baja concentración de nutrientes)

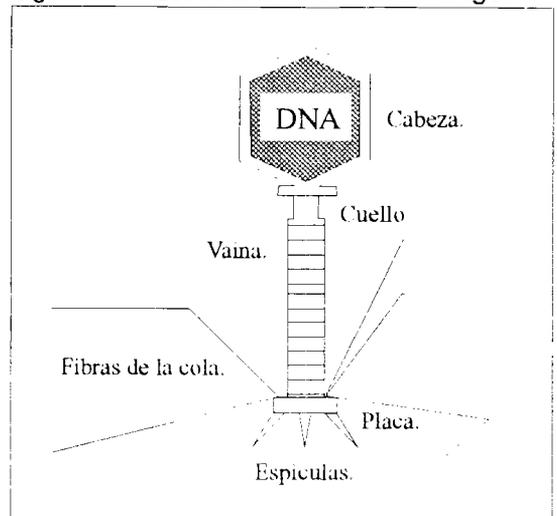
1.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS VIRUS.

Los virus han sido considerados por muchos autores como la expresión más simple de la vida, e incluso existen discrepancias sobre si se les puede adjudicar tal condición

Presentan una estructura consistente en una molécula de ácido nucleico (ya sea ADN o ARN, pero solo uno de ellos) rodeado de proteínas combinadas en algunas ocasiones con lípidos o carbohidratos (cápsida).

Su estudio fue muy problemático pues su pequeño tamaño impedía tanto la observación mediante microscopía óptica como la retención por filtros comunes para

Figura 1.2.- Estructura de un bacteriofago.



bacterias, por lo que se denominaron "agentes filtrables". Un virus solo puede reproducirse dentro de células vivas, lo que impidió durante largo tiempo el estudio de los virus patógenos para el ser humano.

Existen virus parásitos del hombre, animales y plantas, pero también de hongos y bacterias. Precisamente estos últimos, los bacteriófagos, son los más estudiados. En algunos bacteriófagos se puede diferenciar hasta una cabeza, una cola y a veces unas estructuras llamadas espículas (figura 1.2).

Las partículas víricas extracelulares no presentan actividad metabólica ni movilidad, no se multiplican ni crecen ni presentan intercambio energético alguno. En este estado muchos virus son cristalizables de forma semejante a como lo hacen moléculas químicas sencillas. Son por tanto parásitos intracelulares estrictos y solo se muestran activos cuando invaden su célula hospedadora específica.

En la fase intracelular, la presencia del virus hace que los mecanismos reproductores de la célula hospedadora procedan al ensamblaje de la siguiente generación de virus en lugar de reproducirse a sí misma, provocando el colapso metabólico y su muerte. Existen virus que se incorporan al material genético de la célula hospedadora sin destruirla, de modo que al reproducirse

la célula reproduce también el virus interno. Un estímulo externo provoca el paso del estado lisogénico al virulento, ensamblándose una nueva generación de virus y destruyendo la célula. Es importante destacar que estos virus permiten la modificación del material genético del hospedador, al que son capaces de incorporar fragmentos nuevos o hacer desaparecer otros

1.3.- OTROS MICROORGANISMOS.

Las bacterias y virus son los organismos que con más probabilidad pueden ser encontrados en las aguas subterráneas, sin

Tabla 1.1- Resumen de los tipos y características de los microorganismos que pueden estar presentes en el agua.

TIPO	CÉLULA	TAMAÑO	FORMA	NUTRICIÓN	CONDICIONES DE DESARROLLO		
					T*	OXIGENO	pH
BACTERIAS	Procariótica	1-2 x 1-4 μm	Esférica Helicoidal Cilíndrica	Autótrofa Heterótrofa	0-60°C	Aerobias Anaerobias estrictas facultativas	4-9 Óptimo 6,5-7,5
HONGOS	Eucariótica	Variable 10-100 μm	Filamentosa	Heterótrofa	0-62°C	Anaerobios facultativos Aerobios	2-9 Óptimo 5-6
ALGAS	Eucariótica	Variable	Esférica Bacilar Alargada	Autótrofa	0-90°C	Aerobias	
CIANO- BACTERIAS	Procariótica	Variable 0,5-100 μm	Esférica filamentosa	Autótrofa	0-70°C	Aerobias Anaerobias	
PROTOZOOS	Eucariótica	5 μm	Variable	Autótrofa Heterótrofa	16- 25°C	Aerobios Anaerobios	3-9 Óptimo 6-8
VIRUS	Molécula orgánica de ácido nucleico	15 - 150 nm	Poliédrica Helicoidal	Se reproducen por replicación. Parásitos estrictos, necesitan células vivas			

embargo también pueden encontrarse otras formas de vida, la mayor parte de ellas provenientes de capas superiores o incluso de aguas superficiales, aunque su mayor tamaño hace que sean más fácilmente filtrables por el terreno

ALGAS:

Son seres autótrofos, con pigmentos (clorofila) que les permiten emplear la luz como fuente energética. En el agua subterránea se encuentran solo de forma accidental, ya que en el subsuelo hay una carencia absoluta de luz. Pueden ser introducidas por infiltración de aguas superficiales o a través de los pozos excavados de gran diámetro, en los que en ocasiones la luz solar llega hasta el agua provocando la proliferación de algas

Existe una gran variedad de algas. Algunas tienen incluso movimientos de reptación o flagelos, que les permiten desplazarse; otras pueden emplear materia orgánica para su nutrición (cianofíceas), fijar el nitrógeno del aire o atacar la roca caliza

HONGOS:

Son organismos eucarióticos heterótrofos. No poseen plastidios y son en general incoloros. Se reproducen mediante esporas. Acumulan glucógeno y grasa como reserva, pero nunca almidón. Necesitan condiciones aerobias, obteniendo la energía de la oxidación de la materia orgánica. Viven saprofiticamente o como parásitos y algunos son heterótrofos no solo respecto al carbono y nitrógeno sino también respecto a sustancias activas.

Fisiológicamente se adaptan a condiciones más severas que otros microorganismos

toleran y se desarrollan en condiciones de acidez más elevadas (pH 2 a 9 con un óptimo a 5-6); soportan condiciones de sequedad que serían letales para bacterias no esporuladas. Las temperaturas óptimas están entre 22 y 30 °C aunque hay formas que resisten los 0 °C

En aguas subterráneas sin contaminar el bajo contenido en nutrientes impide el desarrollo de los hongos. Sin embargo pueden proliferar en el caso de contaminación con materia orgánica

PROTOZOOS:

Son protistas eucarióticos heterótrofos que se encuentran como células aisladas o en colonias. Hay protozoos que viven libremente y otros que lo hacen como parásitos o como simbioses.

La temperatura óptima para la mayoría de los protozoos está entre 16 y 25 °C y la máxima entre 36 y 40 °C. Algunos pueden tolerar un rango amplio de pH, entre 3,2 y 8,7; sin embargo la mayor parte desarrolla su máxima actividad metabólica con pH entre 6 y 8.

Algunos protozoos prosperan en aguas ricas en oxígeno pero pobres en materia orgánica (manantiales, arroyos o lagunas), mientras que otros requieren aguas ricas en minerales. Algunos crecen en aguas donde hay oxidación activa y degradación de la materia orgánica; en cambio, otros prefieren aguas con muy poco oxígeno pero ricas en productos en descomposición (por ejemplo aguas negras)

La abundancia de nutrientes en un hábitat es el factor determinante principal del número de protozoos que viven en éste.

Existen especies que se alimentan de otros microorganismos y necesitan un suministro de bacterias u otros organismos semejantes

Además de estos organismos unicelulares, en ocasiones excepcionales (acuíferos kársticos con cavernas de suficiente tamaño) pueden encontrarse en el agua

subterránea formas superiores de vida que emplean el agua en una parte o la totalidad de su ciclo biológico. A título de ejemplo se pueden citar muchos parásitos, como los platelmintos (que son nadadores libres), cercarias de ciertos trematodos diagenéticos, larvas ciliadas de monogenéticos y platelmintos, etc.