4. LOS MICROORGANISMOS COMO AGENTES CONTAMINANTES. ORIGEN

4.1. Aguas residuales urbanas

4.2. Ganadería

4.3. Agricultura

4.4. Vertederos de residuos sólidos

4.5. Aguas superficiales

4.6. Actividades industriales. Minería

4.- LOS MICROORGANISMOS COMO AGENTES CONTAMINANTES. ORIGEN.

En condiciones naturales las aguas subterráneas contienen muy pocos microorganismos, debido a la escasez de nutrientes, al escaso o nulo aporte energético y al filtrado que sufre el agua al atravesar los materiales del acuífero. Generalmente no hay animales superiores, algas, protozoos ni hongos y la mayoría de las bacterias presentes no son patógenas.

Cuando la acción del hombre modifica el normal funcionamiento de los acuíferos, y sobre todo cuando introduce substancias y formas de energía que son extrañas, puede provocar una proliferación anormal de microorganismos, o la presencia de microorganismos patógenos provenientes del exterior.

4.1.- AGUAS RESIDUALES URBANAS

La eliminación de las excretas y aguas domésticas mediante el sistema de alcantarillado representa sin duda una solución sanitariamente adecuada, pero ello no quiere decir que no conlleve problemas e inconvenientes.

Las aguas residuales urbanas están formadas por una mezcla de aguas domésticas de lavado, excretas y vertidos de las industrias existentes en la población. Se trata pues de una mezcla compleja, rica en principios nutritivos de toda clase y en los más variados estados de degradación (grasas, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos libres, hidratos de carbono, sales minerales, gases en disolución, metales pesados, plaguicidas, etc).

Esta variedad de nutrientes permite la proliferación en las aguas fecales de una gran variedad de especies bacterianas, hongos, protozoos, así como animales superiores como parásitos intestinales, mamíferos roedores, etc.

Particularmente, las aguas residuales contienen las excretas de personas enfermas, y por ello pueden servir de vehículo para la transmisión de un buen número de enfermedades como el cólera o la salmonelosis. Debido a esto las aguas residuales urbanas presentan un potencial de contaminación y riesgo muy grande en comparación con otras fuentes.

Las excretas humanas contienen una gran cantidad de bacterias Además de las bacterias patógenas que provienen de personas enfermas, contienen bacterias oportunistas que forman parte de la flora intestinal normal pero pueden ser patógenas si son ingeridas por otra persona como es el caso de *Escherichia coli* En la tabla 4.1 pueden verse los valores medios del número de bacterias de diferentes especies significativas en las heces humanas y animales.

En la red de alcantarillado las excretas se dividen en numerosas partículas de pequeño tamaño que permanecen en suspensión en el agua y son transportadas con ella. Dentro de estas partículas existen unas condiciones diferentes a las del medio

Tabla 4.1 - Aportes normales de las excretas del hombre y algunos animales.

BACTERIA	HOMBRE	BOVINO	OVINO
Escherichia coli	$1,3 \cdot 10^7$	$7,2 \cdot 10^5$	$8,9 \cdot 10^1$
Enterococus faecalis	$8,1 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^6$
Streptococcus bovis	58	$3,8 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^6$
Bifidobacterium	$5,6 \cdot 10^9$	0	0
Rhodococcus coprophilus	0	$2,1 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$
Micromonospora	0	$2,1 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$
Streptomyces	$2,6 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$

Fuente: Bitton (1983)

y que pueden ser favorables para la supervivencia de ciertas bacterias.

Esta contaminación puede alcanzar las aguas subterráneas por diversas vías, entre las que se pueden citar:

- Las fugas de las redes de alcantarillado, en poblaciones situadas sobre terreno permeable.

- Vertidos directos sobre el terreno.

- Vertidos en pozos negros.

Entre los microorganismos que pueden ser encontrados en estas aguas destacan:

* Bacterias de la putrefacción: *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Enterobacter cloacae*.

* Indicadores fecales: *Escherichia coli*, *Enterococus* s.p., *Clostridium* sulfitoreductores; entre los patógenos humanos: *Salmonella* s.p., *Shigella* s.p., *Mycobacterium* s.p., *Brucella* s.p., *Legionella* s.p., *Vibrio* s.p., *Clostridium* s.p., *Leptospira* s.p.

* Abundan las bacterias sulforreductoras y sulfatooxidantes, produciendose una importante cantidad de SH_2 a partir de los sulfatos (*Desulfovibrio desulfuricans*). También abundan bacterias que oxidan el azufre como *Thiothrix* y *Beggiatoa*.

* Se encuentran así mismo bacterias

desnitrificantes (*Thiobacillus desnitrificans*, *Micrococcus desnitrificans*) bacterias metanógenas y siderobacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*) Cuando las aguas contienen hidrocarburos se desarrollan especies capaces de degradarlos como *Pseudomonas* y *Nocardia*.

* Debido a las favorables condiciones se desarrollan hongos y levaduras (*Leptomitus lacteus*, *Fusarium acueductum*, *Sacharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, etc.)

* Además de bacterias se encuentran gran cantidad de virus y bacteriófagos; entre los primeros, destacan por su relevancia sanitaria los de la poliomielitis, Coxackie, Echo, hepatitis A, rotavirus, etc.

* No pueden olvidarse gran cantidad de parásitos que se eliminan por heces (protozoos, gusanos intestinales y sus huevos)

4.2.- GANADERÍA

La actividad ganadera, supone un importante foco de contaminación, pues a dicha actividad han de sumarse ciertas prácticas agrícolas, especialmente el abonado con estiércol y purines.

La producción de heces por kilogramo de peso vivo es muy superior en los herviboros que en el ser humano, y como consecuencia también se produce un mayor aporte de bacterias.

Como se vio en la tabla 4.1, la proporción de ciertas especies es diferente en las heces humanas y animales. Incluso algunas especies son privativas de los seres humanos o de los animales, por lo que pueden emplearse como indicadores específicos de contaminación de procedencia humana o animal.

Si bien la contaminación producida por la ganadería es más importante que los residuos humanos en cuanto a volumen, no lo es así en cuanto a riesgo (patogeneidad), dado que muchos de los microorganismos patógenos son propios de una única especie.

No obstante, además de ciertos microorganismos que pueden ser transmitidos por animales, existen parásitos de transmisión hídrica que emplean animales domésticos o salvajes como hospedadores intermedios. Los huevos y larvas de gusanos pueden llegar a circular distancias apreciables en acuíferos kársticos y fisurados.

Es importante diferenciar las explotaciones ganaderas en dos grupos:

- **Explotaciones extensivas**, con el ganado disperso sobre un área de extensión grande y que por ello depositan sus deyecciones y orines de forma diseminada

- **Explotaciones intensivas**, estabuladas, cuyos excrementos se acumulan en el establo y luego son eliminados de una forma u otra.

En el primer caso, que se aproxima mucho a la situación natural, las heces y orines se desecan por acción del aire y del sol, eliminándose así la mayor parte de los microorganismos. Más tarde la acción de las bacterias de la putrefacción, larvas de

moscas y otros insectos, la lluvia y el sol terminan descomponiendo el residuo, llegándose a su total mineralización. En regiones áridas este proceso se produce antes de que las bacterias puedan acceder al acuífero.

Cuando el ganado está estabulado, los animales orinan sobre sus propias heces, formando una mezcla semilíquida que se deposita en grandes montones o se acumula en fosas impermeables. Los lixiviados de los montones de estiércol tienen un elevado riesgo de alcanzar las aguas subterráneas si están ubicados sobre terreno permeable. En el otro caso, al ser utilizados los purines como abono tienen una cierta probabilidad de infiltrar hacia las aguas subterráneas, al tener una fracción líquida importante. Otra fuente de contaminación la constituyen las aguas de lavado de las instalaciones, que con mucha frecuencia son vertidas directamente sobre el terreno.

4.3.- AGRICULTURA

La actividad agrícola no introduce ningún tipo de contaminante microbiológico en el agua subterránea, si se exceptúa el empleo como abono de estiércol y purines incorrectamente tratados. Estos productos antes de ser aplicados deben sufrir un proceso de maduración que además de disponer los nutrientes de forma más accesible para las plantas elimina las bacterias patógenas que pudieran existir.

Otro proceso que puede implicar un gran impacto es el empleo de aguas residuales urbanas para el riego. Estas aguas, que pueden ser portadoras de todo tipo de organismos patógenos, pueden acceder al acuífero, además de contaminar directamente los productos con ellas regados, lo que supone un gran riesgo si van a ser consumidos crudos.

Por último cabe citar una práctica forestal que es la depuración de aguas residuales mediante el riego de choperas (sistema denominado "filtro verde", que será descrito entre las técnicas de depuración). En estos casos resulta evidente la necesidad de hacer un estudio previo para localizar la mejor ubicación del filtro y la correcta ejecución y mantenimiento del mismo.

4.4.- VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los lixiviados producidos en los vertederos de residuos sólidos poseen una concentración muy elevada en compuestos nitrogenados, grasas y sales minerales, lo cual constituye un medio de cultivo adecuado para muchas bacterias y hongos. Al filtrarse este lixiviado hasta alcanzar las aguas subterráneas modifica radicalmente la naturaleza oligotrófica de estas, por lo que aguas que difícilmente serían capaces de mantener una mínima población bacteriana se convierten en perfectos caldos de cultivo.

El desarrollo de estas bacterias consume rápidamente el oxígeno disuelto en el agua creándose un medio anaerobio. Todos estos procesos confieren a las aguas colores extraños y olores y sabores repugnantes además de productos tóxicos que las hacen inadecuadas para el consumo.

El remedio para estos problemas está en la correcta ubicación de los vertederos, alejados de zonas permeables, correctamente aislados e impermeabilizados

4.5.- AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas superficiales están expuestas a todo tipo de agresión contaminante, además de haber sido ampliamente empleadas como medio para diluir y dispersar residuos de todo tipo. Si este agua se infiltra arrastra consigo los residuos, incorporándolos al acuífero.

El grado en que esta contaminación llega a las aguas subterráneas depende del tipo y espesor de los materiales ,que debe atravesar Desgraciadamente, la mayor parte del agua infiltra a través de los horizontes más permeables, donde la filtración es menor

El riesgo de contaminación microbiológica producida por infiltración de aguas superficiales depende de los vertidos urbanos, industriales o agrícolas al río más que de la población microbiana natural de éste.

4.6.- ACTIVIDADES INDUSTRIALES. MINERÍA

La minería emplea microorganismos en los procesos de enriquecimiento de ciertas menas (minerales de cobre, cinc y uranio entre otros) y en la recuperación de sus escombreras Se emplean normalmente bacterias acidófilas quimioautótrofas tales como *Thiobacillus ferrooxidans* y *T. thiooxidans*. Estas bacterias oxidan el mineral (sulfuros insolubles en agua) a sulfatos solubles, que son recuperados del agua de lixiviado. El pH óptimo de crecimiento de estas bacterias se encuentra entre 2 y 4 pero presentan crecimiento incluso a pH tan bajo como 1. Las aguas de minas metálicas están contaminadas frecuentemente con este tipo de microorganismos, lo que presenta ciertos inconvenientes y en especial la disminución del pH La minería sin embargo raramente será un foco de contaminación microbiológica, dado que las bacterias que se utilizan no son patógenas.

En muchas industrias se utilizan bacterias, levaduras u hongos filamentosos en los procesos productivos; baste citar como ejemplo.

- Industrias lácteas (cuajada, yogur, queso, mantequilla, etc).

- Industria panadera

- Bebidas alcohólicas (cerveza, vino, sidra), vinagres.

- Industria química (ácido cítrico, láctico, enzimas, aminoácidos, etc.).

- Industria farmacéutica (antibióticos, esteroides, etc.).

Salvo la industria farmacéutica, que en ocasiones emplea microorganismos potencialmente patógenos, el resto no constituye un peligro desde este punto de vista.

Sin embargo, revisten especial peligrosidad algunas industrias que vierten medios ricos en nutrientes que permiten un desarrollo bacteriano intenso Entre ellas cabe citar

- Mataderos
- Alcoholeras y almazaras
- Industrias de la alimentación en general
- Celulósicas
- Industria petroquímica

Los microorganismos presentes en los vertidos de este tipo de industrias son muy variados, desde hongos (*Sacharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, muy abundantes en vertidos de industrias de la bebida o en las lejías de la industria de la celulosa), bacterias envainadas como *Sphaerotilus natans* (en vertidos de fábricas de productos alimenticios o celulosas) Cuando las aguas proceden de mataderos pueden contener microorganismos patógenos (*Bacillus*, *Clostridium*, etc), y si en el agua hay excrementos son muy abundantes *Mixobacterias*, *Cystobacter* y *Polyangium*.

Muchas industrias sufren deterioro de sus instalaciones o productos por la acción de microorganismos, lo que puede suponer cuantiosas pérdidas económicas Por ejemplo las aguas ácidas producidas por *Thiobacillus* atacan al hierro e incluso al hormigón, bacterias como *Desulfovibrio* que producen SH_2 causan una rápida corrosión del hierro. La madera es atacada por hongos que metabolizan la celulosa y lignina (ascomicetos), también por bacterias (*Cytophaga*, *Sporocytophaga*). La goma se ve atacada por *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Nocardia*, *Micromonospora*.