

CONSIDERACIONES PARA LA INTERPRETACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EN LA ZONA NO SATURADA DE COLIFORMES, ESTREPTOCOCOS Y BACTERIAS AEROBIAS PROCEDENTES DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

CASTILLO, A.

Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC - Univ. Granada).
Avda. Fuentenueva, s/n. 18071. Granada.

Resumen

La contaminación microbiológica de las aguas subterráneas está muy influenciada por la zona no saturada (ZNS), donde tienen lugar gran número de procesos que, además, dificultan la interpretación de los resultados obtenidos. En este artículo, y con el fin de ayudar a dicha interpretación, se exponen algunas consideraciones sobre el comportamiento de coliformes (C), estreptococos (E) y bacterias aerobias (A) a su paso por la ZNS, procedentes de vertidos de aguas residuales urbanas.

Entre los aspectos más resaltables, cabe mencionar la irregularidad de los valores de concentración seriados (a lo largo del tiempo), sobre todo en los primeros estadios de afección, así como la moderada correlación estadística de los bioindicadores considerados. La correlación de A/C, y, en menor medida e inversa, de C/E, con la perdurabilidad de las afecciones producidas constituye un elemento interpretativo de cierto interés, complementario al de las evoluciones de C, E y A, correlacionadas (A, en sentido negativo) con la intensidad de las afecciones.

Palabras clave: Comportamiento bioindicadores, contaminación fecal, zona no saturada

Introducción

La ZNS constituye un medio, complejo y variado, soporte de múltiples fenómenos con influencia en la calidad de las aguas subterráneas subyacentes. Este medio no está aún bien estudiado, posiblemente por la dificultad que entraña la toma de muestras y, sobre todo, por la complejidad de modelizar los procesos físico-químico-biológicos que tienen lugar.

Uno de los aspectos de mayor interés de la ZNS es el de su comportamiento "depurador" frente a determinados compuestos, procedentes, en su mayoría, de específicos focos contaminantes; entre ellos, tiene especial relevancia el de las aguas residuales urbanas. La imperiosa necesidad de su depuración y reutilización son factores que están favoreciendo, de forma indirecta, una mayor dedicación al estudio y comportamiento de la ZNS, principalmente desde las perspectivas de constituir un medio depurador y/o ser zona de tránsito para la recarga de acuíferos.

La determinación y seguimiento de bioindicadores de contaminación fecal ha sido muy utilizada para valorar el efecto depurador ejercido sobre las aguas residuales urbanas por la ZNS, así como criterio de evaluación del riesgo sanitario infringido a las aguas subterráneas finalmente receptoras de los vertidos.

Los bioindicadores más utilizados son los coliformes y estreptococos fecales, y, en menor medida, las bacterias aerobias, o las determinaciones específicas de *E. Coli* y de Salmonelas. No obstante, en la práctica se ha constatado, muy frecuentemente, la dificultad de interpretación de los resultados obtenidos, fundamentalmente por la cantidad y diversidad de variables modificadoras de las poblaciones bacterianas que tienen lugar en la ZNS (sobre todo en la franja húmica), con diferente grado de influencia sobre los bioindicadores citados.

En este contexto, el presente artículo trata sobre el comportamiento en la ZNS de coliformes (C), estreptococos (E) (como indicadores a su vez de las especies fecales de ambos grupos) y bacterias aerobias (A), procedentes en todos los casos de aguas residuales urbanas. El trabajo alude, brevemente, a las principales características diferenciadoras del comportamiento de estos grupos bacterianos, como son la concentración y proporción en aguas residuales urbanas, y la supervivencia y dinámicas poblacionales, todo ello como medio de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos. En esa línea, se hacen, finalmente, algunos comentarios sobre el significado, teórico y bajo condiciones estándares, de los valores de C/E y A/C como indicadores de la perdurabilidad (o persistencia) de las afecciones.

Comportamiento en la ZNS de coliformes, estreptococos y bacterias aerobias procedentes de aguas residuales urbanas.

Los coliformes, estreptococos y bacterias aerobias son grupos bacterianos que incluyen a multitud de especies diferentes, la mayoría de ellas no patógenas. Pese a la diversidad biológica, su tamaño y demás características orgánicas son relativamente similares, con excepción a sus diferentes comportamientos de cinética poblacional, con leyes de degradación-regeneración y tiempos de supervivencia característicos, siempre bajo condiciones estándares. Tampoco son equivalentes las concentraciones y proporciones mutuas presentes en las aguas residuales urbanas.

Precisamente en base a las diferentes concentraciones de partida y, sobre todo, a las cinéticas poblacionales que tienen lugar en la ZNS puede obtenerse información sobre la persistencia (e indirectamente sobre el comportamiento depurador de la ZNS) de las afecciones, de forma complementaria a la intensidad de las mismas, según las concentraciones obtenidas para los bioindicadores citados.

Concentraciones de partida

El conocimiento de las concentraciones promedio de partida, si es posible en el mismo punto de afección, para los bioindicadores considerados es casi imprescindible para poder utilizarlos como trazadores de la afección microbiológica producida y del comportamiento depurador ejercido al respecto por la ZNS. El seguimiento en la ZNS de la dinámica poblacional de estos grupos biológicos permitirá, entre otras cuestiones, perfeccionar los modelos de propagación de contaminación biológica y, de esta forma, extender los ámbitos de aplicación.

La concentración promedio en aguas residuales urbanas de C, E y A es sumamente difícil de establecer "a priori" debido a la alta variabilidad espacio-temporal que caracteriza a las mismas. Como se sabe, son muy diferentes las concentraciones horarias, así como las debidas a la tipología de los núcleos y a las dotaciones de abastecimiento aplicadas. A título orientativo, se exponen a continuación los órdenes de magnitud de concentración más habituales (Metcalf-Eddy, 1985, Ramos-Cormenzana, 1990...).

| | | |
|----------------------------|-------------|----------|
| Coliformes | 10^5-10^6 | unid./ml |
| Coliformes fecales | 10^3-10^4 | " |
| Estreptococos | 10^3-10^4 | " |
| Estreptococos fecales | $10-10^2$ | " |
| Bacterias aerobias (37 °C) | 10^6-10^7 | " |

Debido a la relativa regularidad de los diferentes valores de aporte para los bioindicadores aludidos (bacterias/habitante/día), las proporciones mutuas de concentración están sometidas a una menor variabilidad; en general, las proporciones de bioindicadores son características, y la evolución de éstas en la ZNS puede aportar, bajo ciertos condicionantes, información sobre la persistencia de las afecciones, así como sobre el poder autodepurador de la ZNS. Los valores mínimos de algunas de estas relaciones son los siguientes:

| | |
|-------|----------|
| C/E | > 10 |
| Cf/Ef | > 1 |
| A/C | > 10 |
| A/E | > 10^3 |

Dinámicas poblacionales

La cinética de degradación (eliminación de bacterias) de coliformes y estreptococos sigue una ley exponencial (en ITGE, 1991) del tipo:

$$C_t = C_o \exp (-\lambda t (t-t_o))$$

C_o = Concentración inicial

C_t = Concentración a un tiempo t

λt = Constante de eliminación; $\lambda t = 0,693/T$, siendo T el tiempo en el cual la mitad de bacterias han desaparecido (tiempo de

semidesaparición). La constante de eliminación presenta un intervalo de valores característico de cada grupo biológico, en dependencia con las variables medio ambientales (condiciones de entorno).

La mayor parte de los ensayos sobre cinéticas de degradación se han realizado en láminas de agua superficial, y, en menos casos, sobre aguas subterráneas, siendo muy escasa la información disponible sobre la ZNS. Las investigaciones realizadas en aguas de ríos, aguas subterráneas y suelos muestran, en general, una menor pendiente de la curva de degradación de estreptococos en comparación con la de coliformes (Bitton, *et al.*, 1983); a ello se debe que la relación C/E tiende a disminuir con el tiempo, y, consecuentemente, a lo largo del tránsito por la ZNS. El gradiente de disminución de esta relación con la profundidad está en función, entre otras variables, con la carga contaminante e hidráulica aplicada y con la permeabilidad vertical.

Mención aparte merece el comportamiento de las bacterias aerobias, que, tras una primera disminución en el suelo, experimentan un incremento gradual dentro de la ZNS; esta regeneración es debida al oxígeno disponible y a la disminución de bacterias competitivas, todo ello con un nivel residual de nutrientes todavía elevado. Después de un largo periodo, y ya normalmente en flujo horizontal a través de la franja saturada, se alcanza la estabilización, a la que sigue un descenso de concentración, originado, entre otras razones, por la escasez de nutrientes del medio, hasta llegar a alcanzar la concentración inicial (de base) en el agua subterránea.

La dinámica poblacional descrita permite obtener partido interpretativo a la relación A/C, la cual, al contrario que C/E, tiende a aumentar en primera instancia con el tiempo, y, consecuentemente, con la profundidad de tránsito dentro de la ZNS.

Posible significado de los valores de C/E y A/C

a) Relación C/E

Si esta relación presenta un valor relativamente estable para las aguas residuales del ámbito de estudio (que será diferente de unas poblaciones a otras, y sobre todo en función de los tratamientos previos aplicados y del tiempo transcurrido desde la evacuación), la evolución de este índice en la ZNS estará relacionada con el tiempo transcurrido desde que se produjo la afección (siempre en ausencia de nuevos aportes). Muy ilustrativa será la evolución del índice en el espacio (con la profundidad) y con el tiempo, a partir de la cuál será posible obtener información sobre el comportamiento depurador de la ZNS. Pese al menor interés de los valores absolutos del índice, que pueden tener diferente significado, dependiendo de las condiciones de entorno (factores medio ambientales), se muestra a continuación el posible significado en atención a condiciones estándares e ideales.

- Valores de C/E superiores a 0,66 R, siendo R el valor relativo mostrado por las aguas residuales urbanas, a ser posible medido en el foco de contaminación, serían compatibles con contaminaciones en curso o recientes, y por tanto, muy próximas al foco de aporte.

- Valores inferiores a 0,33 R serían habituales en situaciones de ausencia de contaminación, por carencia de vertidos o por autodepuración efectiva de la ZNS, o en situaciones de afecciones no muy recientes

- Valores comprendidos entre 0,33-0,66 R podrían ser reflejo de situaciones intermedias a las descritas anteriormente.

En la figura 1 se muestran conjuntamente las evoluciones de C (intensidad) y de C/E (inversa a la persistencia) obtenidas sobre el agua lixiviada tras 20 m de infiltración a través de la ZNS, tras aplicar una tasa de recarga de 800 mm en 35 horas con aguas residuales urbanas brutas en el acuífero de la Vega de Granada (Castillo *et al.*, 1994).

b) Relación A/C

Debido al carácter fuertemente dinámico de las poblaciones de bacterias aerobias en el medio ambiente aéreo, los valores de A/C están sometidos a muy amplias oscilaciones en las aguas residuales urbanas, si bien los valores de la relación son superiores, en cualquier caso, a 10. Dado el muy diferente comportamiento poblacional de C y de A dentro de la ZNS, así como también en las aguas subterráneas, el valor de esta relación debe incrementarse, en un principio, con el tiempo; en una fase posterior, los valores de A/C disminuyen hasta alcanzar el valor de base característico de las aguas del acuífero. Al igual que lo comentado para el índice C/E, es más ilustrativa la evolución del índice (valores relativos), que la magnitud de los valores obtenidos, que pueden estar influidos por diversas variables del medio. A continuación, y a título solo orientativo, se ofrece el significado de los valores absolutos de A/C en condiciones estándares.

- Valores inferiores a R, siendo R el valor de la relación A/C en el agua residual origen de la afección, serían compatibles con situaciones de contaminación relativamente reciente, tanto más cuanto cercano fuera el valor de A/C a R.

- Valores superiores a 5 R serían habituales de situaciones de ausencia de contaminación o de afecciones no muy recientes.

- Valores comprendidos entre 1-5 R serían propios de situaciones intermedias, para cuyo diagnóstico sería especialmente necesario, en este caso, analizar la evolución seguida por C.

En la figura 2 se muestran las evoluciones de A (inversa a la intensidad de la afección) y de A/C (persistencia) obtenidas para la misma experiencia citada anteriormente (figura 1).

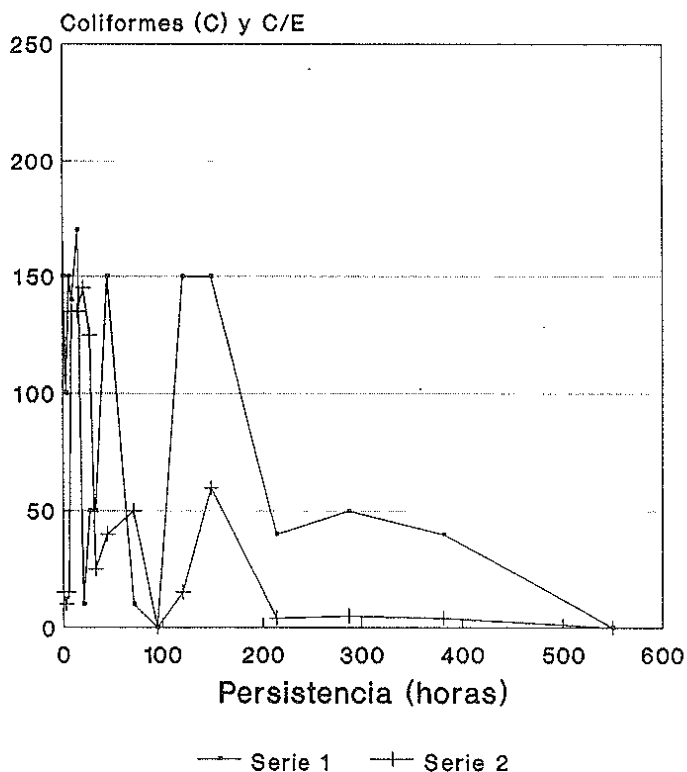


Figura 1.- Evoluciones temporales de C (puntos) y de C/E (cruces) obtenidas para los lixiviados de la ZNS (20 m de espesor) en una experiencia de recarga con aguas residuales (Castillo, et al., 1994). C en unid./ml. Valores de C/E x 10

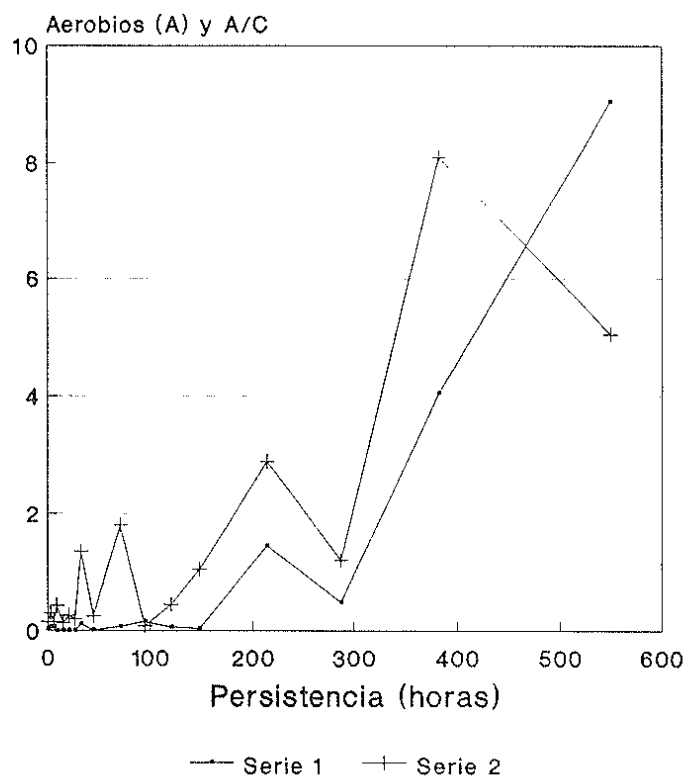


Figura 2.- Evoluciones temporales de A (cruces) y de A/C (puntos) obtenidas para los lixiviados de la ZNS (20 m espesor) en una experiencia de recarga con aguas residuales (Castillo, et al., 1994). A en unid./ml. Valores de A/C x 2

Conclusiones

La evolución temporal de concentración, en la ZNS (con especial aplicación a un vertido puntual e instantáneo), de C, E y A muestra una alta irregularidad (evolución dentada), sobre todo en los primeros estadios de afección. El diferente comportamiento poblacional seguido por los bioindicadores considerados es responsable de la deficiente correlación estadística obtenida entre ellos. Muy ilustrativas son las evoluciones de C, E y A, así como, complementariamente, la de algunos índices, entre los que cabe citar a A/C y C/E. El índice A/C, y en menor medida C/E, está estrechamente correlacionado con la persistencia de la afección, lo que representa un buen complemento a las evoluciones de C, E y A, correlacionadas (A, en sentido negativo) con intensidades.

Agradecimientos

Para la realización de este artículo se han tenido en cuenta algunas experiencias realizadas bajo la dirección del Dr. Ramos Cormenzana, Catedrático de Microbiología de la Universidad de Granada.

Referencias

- BITTON, G., FARRAH, S.R., RUSKIN, R.H., BUTNER, J. y CHOU, Y.J. (1983). Survival of pathogenic and indication organism in ground-water. *Ground Wwater*, vol. 21, nº 4, 405-410.
- CASTILLO, A., RAMOS-CORMENZANA, A., INCERTI, C. y GOMEZ, L. (1994). Depuración de aguas residuales urbanas por filtración a través de la franja no saturada de un acuífero aluvial. *En investigación en Zona No Saturada*. Ed. I. Morell. Univ. Jaume I. 123-133. Castellón.
- I.T.G.E. (1991). Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas. *Ed. ITGE*. 1ª ed. 289 p. Madrid.
- METCALF-EDDY, INC. (1985). Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. *Ed. Lábor*. 2ª ed. 970 p. Barcelona.
- RAMOS CORMENZANA, A. (Coord.) (1990). Proyecto para la reutilización de las aguas residuales tratadas en las nuevas estaciones depuradoras (Granada). *Inf. Inédito*. DGOH. Madrid.

