

COMPORTAMIENTO DEL SUELO FRENTE AL RIEGO CON AGUAS ENRIQUECIDAS EN TENSOACTIVOS

M^a TERESA DE LA CRUZ CARAVACA, M^a AMPARO CRESPO ALÍA
y M^a LUISA PALOMAR G^a-VILLAMIL

1. PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL

El desarrollo de las civilizaciones ha traído consigo, a lo largo de la Historia, mejoras considerables, tanto en esperanza de vida como en calidad de la misma; este desarrollo conlleva un aumento paralelo de residuos procedentes de las numerosas y variadas actividades industriales y domésticas, cada vez más complejos y persistentes, que pasan a formar parte de los distintos ecosistemas, constituyendo, en muchos casos, una agresión.

Es evidente que una gran parte de estos residuos son vertidos incontroladamente en el suelo o las aguas generando graves problemas de contaminación. Una de las mayores fuentes de contaminación del medio hídrico continental son las aguas residuales urbanas (ARU), en las que abundan diferentes tipos de residuos tanto biodegradables como no biodegradables. Dentro de estos residuos destacan los tensoactivos, componentes fundamentales de los detergentes, sobre cuya biodegradabilidad han aparecido en la bibliografía multitud de artículos (Manzano Quiñones y col., 1996; Quiroga y Sales, 1991; Okpokwasili y Olisa, 1991; Patocka y Pulliam, 1990; Ruiz Cruz, 1987; etc.). Los efluentes de los lavarropas contienen, en bajas concentraciones, diferentes productos secuestrantes capaces de reaccionar por contacto con metales contenidos en los materiales del suelo, produciendo así el transporte de los mismos. Si bien los adyuvantes poseen una fuerte afinidad por los cationes alcalinotérreos, la posibilidad de reacción con otros metales no está excluida (El Falaki y col. 1994).

El interés del suelo es bastante posterior al del aire y el agua, y aún hoy está muy poco desarrollado desde el punto de vista normativo. Antes de 1970, el suelo era considerado como un sistema con una capacidad de autodepuración casi infinita, debido a la escasa o nula percepción sensorial de sus cambios en comparación a los del aire o el agua. En 1992, el Consejo de Europa reconoce —en la Carta Europea de Suelos— la necesidad de la protección de este «recurso no renovable». No obstante, hasta hace unos diez años, este sistema ha sido considerado sólo de forma indirecta a través de las políticas de protección del aire y el agua (Calvo de Anta, 1997).

Dejando aparte los residuos que han desaparecido en las aguas, los que se han integrado en el suelo presentan el agravante de que la difusión en el terreno puede

multiplicar el alcance de la contaminación. Según Macías (1993) un suelo contaminado ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como sistema protector a ser una causa de problemas para el agua, la atmósfera y/o los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que causan cambios en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas.

Se ha podido comprobar que muchos de los problemas que presentan los ríos españoles se debe a la escasa depuración que los municipios dan a las aguas de sus alcantarillados que vierten en los mismos, aportando grandes cantidades de N y P principalmente, ocasionando procesos de eutrofización. A ello contribuyen las actividades industriales, dado que las pequeñas industrias carecen de posibilidades de dotarse de depuradoras idóneas, si bien sus efluentes pueden ser tan nocivos como los de las grandes industrias (Bustamante, 1988). Numerosos municipios pequeños y medianos, vierten sus aguas directamente a los cursos de agua superficial, lo que supone un factor de riesgo importante ya que suele ir acompañada de numerosos desechos domésticos e industriales que, de este modo, pueden incorporarse a las aguas subterráneas.

Puesto que el suelo tiene distintas y complejas funciones, una evaluación cuantitativa de su calidad exigiría considerar un amplio número de criterios, que no son de aplicabilidad general, lo que es imposible en el estado actual de conocimientos. Nos encontramos con que la falta actual de reglamentación para la protección del suelo, tanto a nivel local como comunitario, hace necesario el desarrollo de estudios y estrategias con el fin de llegar a una reglamentación suficientemente sencilla para hacerla aplicable y lo suficientemente amplia como para que pueda adaptarse a las distintas condiciones y ambientes.

2. PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN QUE IMPLICAN A LOS DETERGENTES

Uno de los principales componentes de las aguas residuales urbanas lo constituye el grupo de los denominados «detergentes». Se tiene la costumbre de designar por detergente (del latín «detergere»; limpiar) a los productos susceptibles de permitir las operaciones de limpieza. A esta definición etiológica se han propuesto las más generales de tensoactivo, «surfactif», syndet, tensido.

Un detergente se define como un compuesto químico que, disuelto o puesto en suspensión en un líquido, es perfectamente absorbido a una interfaz, lo que determina un conjunto de propiedades fisicoquímicas y químicas de interés práctico. La molécula de estos compuestos presenta, al menos, un grupo susceptible de asegurar una afinidad hacia las superficies netamente polares o inducir con frecuencia a la solubilización en el agua, y un radical que presenta poca afinidad por el agua. Esta estructura permite la modificación de ciertas propiedades fisicoquímicas a nivel de contactos sólidos-líquidos y la disminución de tensiones superficiales. Dicha acción constituye el factor esencial en las operaciones de limpieza. Los productos comerciales incluyen en su composición, además de los componentes activos (agentes de superficie), una serie de compuestos coadyuvantes que potencian los efectos de los primeros. Los agentes de superficie se distinguen, según la naturaleza del grupo polar hidrófilo, en; detergentes aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfólitos (Martín Galvin, 1995, Figura 1).

Detergentes aniónicos; representan la gran mayoría de los productos utilizados para la limpieza. Durante mucho tiempo las sustancias más utilizadas han sido los productos «duros» o poco biodegradables, de cadena ramificada, como los ABS (Alquilbencenosulfonatos de cadena ramificada), que eran los principales responsables de los problemas planteados por la presencia de detergentes en el agua. Representaban, según los países, del 80 al 90% de la producción total, antes de que las autoridades sanitarias decidieran su sustitución por detergentes de cadenas lineales biodegradables, al menos en un 80%, siendo el más utilizado de estos últimos el LAS (Alquilbencilsulfonatos de cadena lineal).

Detergentes catiónicos; poseen uno o varios grupos funcionales que, en solución acuosa, suministran iones cargados positivamente. En la práctica estos agentes de superficie son generalmente clorhidratos de amina o los derivados de amonio cuaternario. Poseen propiedades germicidas y desinfectantes interesantes, pero se emplean poco como detergentes. Se utilizan para el mordentado y bruñido de los tejidos.

Detergentes no iónicos; están formados por moléculas que contienen grupos hidroxilados hidrófilos y grupos lipófilos. Los primeros no se ionizan en solución y están elaborados por fijación de polímeros de óxido de etileno o de propileno sobre las

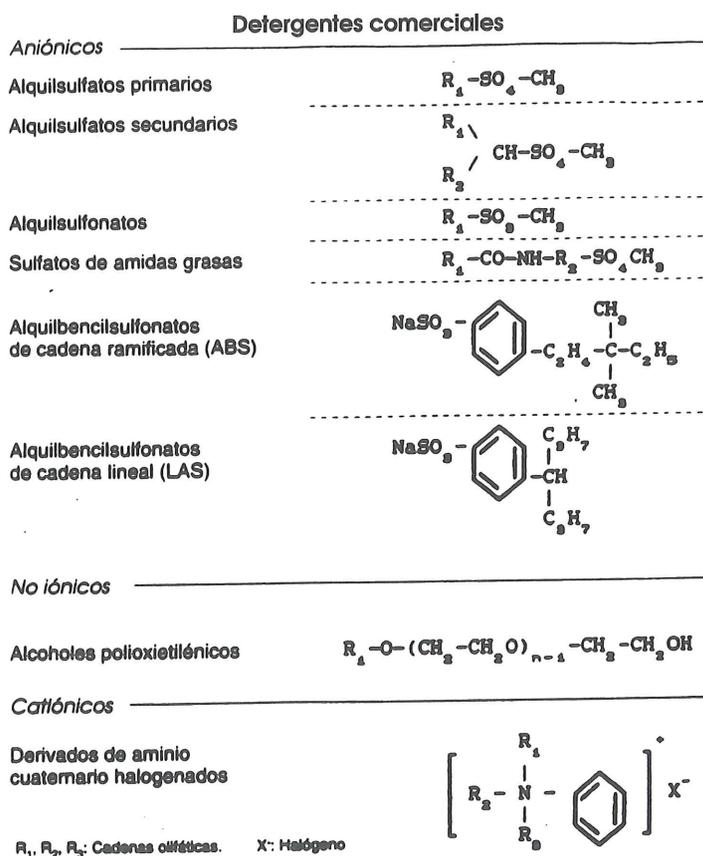


FIGURA 1. Tensoactivos típicos de los diversos tipos de detergente.

moléculas de hidrógeno móvil (alcohol, ácido), de amina. Su utilización se desarrolla en la industria textil (tratamiento de la lana en bruto y del algodón), industrias metalúrgicas (decapado y lubricación), farmacéuticas y de cosméticos. Para el uso doméstico se encuentran en una proporción del 20% en los polvos llamados «especiales no espumantes» para lavadora y los deterstivos para textiles delicados.

Detergentes anfólitos; se ionizan según las condiciones del medio, con las características de un agente de superficie aniónico o catiónico.

Entre los agentes adyuvantes que presentan los productos comerciales se encuentran;

- Adyuvantes propiamente dichos; polifosfatos, carbonatos, silicatos.
- Productos que mejoran la acción de los principios activos (óxidos aminados, carboximetilcelulosa, alquilamidas).
- Aditivos, agentes de blanqueo, perboratos, colorantes, perfumes.
- Cargas de sales minerales que mejoran la presencia de los productos.
- Enzimas que participan en la hidrólisis de algunas materias.

La presencia en el agua de estos compuestos tiene diversos orígenes (Pesson, 1979):

Urbano; resultante del creciente uso doméstico de diversas fórmulas destinadas a la limpieza.

Industrial; resultante de la fabricación de estos productos o de su empleo intensivo en ciertos sectores (lavanderías, industrias textiles, industrias del cuero, etc.).

Agrícola; debido al arrastre por las aguas fluviales de los coadyuvantes que entran en la composición de formulaciones para diversos usos (insecticidas, fungicidas, etc.).

Los detergentes son vertidos en la red de alcantarillado y conducidos por los efluentes urbanos e industriales hasta los medios receptores después de un paso eventual por una estación depuradora. Si no han podido ser eliminados mediante procesos fisicoquímicos o biológicos, los diversos componentes de los detergentes, y en especial los tensoactivos aniónicos, aparecerán en los cursos de agua en concentraciones no despreciables. Según Degremont (1976), antes de utilizarse productos biodegradables, las concentraciones de detergentes aniónicos en las aguas de los ríos variaban entre 0,05 y 6 mg/L. No son tóxicos para los organismos de un río siempre que su concentración se mantenga inferior a 3mg/L. Los daños producidos por la presencia de detergentes en el agua son;

- Formación de espumas que paralizan los procesos de depuración natural o artificial, concentran las impurezas y pueden diseminar las bacterias y los virus. Es suficiente una concentración de detergentes aniónicos de 0,3mg/L para producir una espuma estable. Este fenómeno aparece especialmente en presencia de proteínas parcialmente degradadas y de iones calcio; 'por el contrario, se

reduce drásticamente en presencia de concentraciones importantes de materia orgánica en suspensión y disueltas.

- Disminución de la absorción de oxígeno de la atmósfera y de su disolución, aún en ausencia de espuma, por la formación de una película aislante que aparece en la superficie, con la consiguiente atenuación de los procesos biológicos.
- Aumento del contenido en fosfatos, procedentes de los polifosfatos combinados con los agentes de superficie, que favorece la eutrofización de los lagos y el desarrollo de plancton en los ríos.
- Aumento progresivo del contenido en boro de las aguas superficiales y profundas, procedente de las grandes cantidades de perborato sódico, con niveles de boro superiores al necesario para el desarrollo normal del vegetal, pudiendo producir toxicidad a las plantas.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO COMO DEPURADOR

El agua es un factor de fertilidad o nutriente en los suelos agrícolas, y la de riego cumple un cometido comparable al de los abonos; sin embargo, un uso inapropiado del agua de riego puede producir daños por erosión, exceso de agua, salinidad, etc. Cuando se suministra agua a un cultivo, ésta se evapora en parte, el resto, descontando la pequeña porción que asimila la planta, percola a través del suelo. En muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, el 80% del agua de riego es previamente utilizada por los núcleos de población (Asano y Petigrove, 1987); estas aguas ricas en materia orgánica, detergentes y grasas, deben ser sometidas a diferentes tratamientos de depuración, con el fin de disminuir la carga contaminante. La reutilización agrícola de las aguas residuales urbanas (Ayuso y col. 1992) se podrá llevar a cabo siempre y cuando se garanticen unos requisitos mínimos como son;

- Aprovechar al máximo el poder depurador del suelo.
- Evitar contaminación superficial o de los acuíferos.
- Aprovechar el poder fertilizante al mínimo coste.

El suelo constituye la primera barrera que ha de atravesar el agua en su viaje hacia los acuíferos y de éstos hacia el cauce de los ríos, manantiales y pozos; barrera que no ha de entenderse únicamente como un obstáculo físico que se opone al paso del agua y los contaminantes por ella transportados, disueltos o en suspensión, sino como un sistema mucho más complejo (Figura 2) en el cual se producen, de forma simultánea y profundamente interrelacionados;

- Procesos físicos; retención e inmovilización de partículas por el entramado del suelo.
- Procesos químicos: intercambio iónico en la superficie de las fracciones reactivas del suelo (arcilla, materia orgánica, óxidos de hierro y aluminio), modulado por el pH.

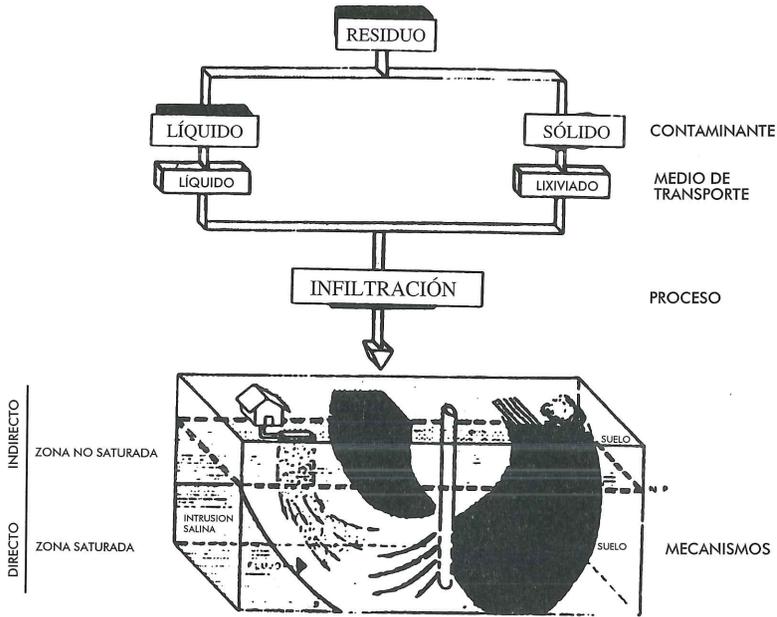


FIGURA 2. *Papel del suelo como depurador.*

— Procesos biológicos; degradación por parte de la microflora y microorganismos del suelo de numerosas sustancias contaminantes.

Para depurar un agua residual se esparce directamente sobre el suelo, los coloides arcilla-humus retienen las sustancias que se encuentran en suspensión en el agua y adsorben las que están disueltas. Los microorganismos pueden metabolizar las sustancias orgánicas y transformar las proteínas en nitratos; las bacterias nitrificantes son aerobias y no soportan la acidez, por lo que no todos los terrenos son apropiados para la depuración biológica.

La capacidad de depuración de un suelo está condicionada por características físicas como la textura; una textura permeable producirá la infiltración del agua, lavando el suelo y arrastrando los nutrientes; si, por el contrario, la textura es fina, el agua saturará rápidamente los poros produciéndose fenómenos de encharcamiento y fermentación (Sastre y col. 1993). El pH es otro factor a tener en cuenta ya que condiciona la movilidad de los elementos, contaminantes o no, y la capacidad del suelo para retenerlos puesto que determina la carga eléctrica de las fracciones activas (Palacios y Casado, 1993).

Las funciones que va a realizar el suelo como depurador se pueden agrupar en:

Aireación; está condicionada por la porosidad del suelo, de la que depende a su vez la microflora existente, la cual desarrolla los procesos bioquímicos sobre la materia orgánica. El suelo absorbe alrededor de 5 Tm/ha/día de oxígeno molecular atmosférico.

Filtración; en función de las características texturales y estructurales, el suelo permitirá el paso de las partículas y microorganismos a las capas más profundas,

mientras que las partículas más gruesas permanecerán en superficie. Esta capacidad de filtración es limitada debido a la colmatación que se puede producir en los poros, viéndose favorecida por las texturas arenosas (Palomar y col.,1995).

Retención de materias disueltas; los coloides pueden fijar cationes, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , mientras que Na^+ es normalmente arrastrado.

Estos fenómenos de filtración y retención presentan un límite de saturación a partir del cual el terreno ya no es capaz de retener más sustancias (nivel de colmatación); cuando ocurren fenómenos de esta naturaleza se pueden producir aumentos repentinos, de difícil explicación, en la concentración de alguna sustancia que al principio era fuertemente retenida (Moreno Merino, 1992).

Retención de agua; dependerá de la humedad del suelo, cuyo margen es muy amplio, variando desde agua fuertemente retenida, que ocupa los poros finos y medios del suelo y es absorbida por las raíces; agua de escorrentía superficial, que circula en el interior de los horizontes superiores, paralelamente a la superficie, no es constante y afecta a las superficies en pendiente; y agua de gravitación, que se infiltra por la fuerza de la gravedad, circulando por los poros gruesos y alcanza las capas freáticas si el suelo es permeable.

4. ALTERACIONES DEBIDAS AL RIEGO CON AGUAS ENRIQUECIDAS EN TENSOACTIVOS EN DOS TIPOS DE SUELO (MODELO EXPERIMENTAL)

Son escasas las referencias acerca de los efectos de los detergentes sobre el suelo, razón por la cual Crespo y col. (1996,1999) diseñaron un modelo experimental sobre dos tipos de suelos de características muy diferentes; un suelo ácido con textura arenosa (Cambisol dístrico) y un suelo ligeramente alcalino con textura franco-arcillosa y con alto contenido en carbonatos (Cambisol calcárico). En dicho modelo se puso de manifiesto la variación temporal que sufren los percolados obtenidos en cada suelo; las modificaciones de sus propiedades y la repercusión en el desarrollo vegetal mediante el seguimiento del ciclo vegetativo de *Cynodon dactylon*, gramínea que se sembró sobre ambos suelos.

La composición de los percolados obtenidos a lo largo de doce meses manifiesta variaciones importantes;

- Aumento del pH y de la conductividad eléctrica, debido al elevado aporte de bases y sustancias basificantes de la solución de riego.
- Disminución del contenido en calcio y magnesio, ya que estos elementos precipitan con los fosfatos de la solución de riego en forma de fosfatos cálcicos y magnésicos, quedando retenidos en el suelo.
- Elevado contenido en nitrógeno, sodio, fosfatos y sulfatos que ocasionan elevados índices del SAR (Sodium Absorption Ratio), que suponen un factor de riesgo importante en suelos de cultivo, sobre todo si el drenaje resulta impedido.

Respecto a los suelos, en ambos, se incrementa el contenido de potasio, sodio, fosfatos y sulfatos, aportados con la solución de riego. El elevado contenido de sodio, a diferencia de lo que ocurría en los percolados, no repercute de forma negativa en el índice del SAR debido al efecto amortiguador del calcio. Sin embargo, donde mayor repercusión produce el contenido en sodio y la acción de los tensoactivos es en el incremento de la arcilla libre, lo que es un índice de la estabilidad de los agregados. La importancia de la estabilidad estructural de los agregados del horizonte superficial radica en que es la capa que limita el intercambio agua-aire-atmósfera-suelo y, además, es la parte del suelo que está sometida continuamente a la agresividad de la lluvia y a las prácticas de manejo (Ramos y Nacci, 1997). En ambos suelos disminuye el grado de estabilidad de los agregados; por tanto, el elevado contenido en sales, principalmente de sodio, provoca efectos indeseables como es la dispersión de las partículas finas (arcillas), lo que repercute en la disminución de la permeabilidad, más acusado en el Cambisol calcárico.

Los efectos negativos derivados de la existencia de suelos con baja o insuficiente permeabilidad son evidentes. En primer lugar, puede observarse un efecto directo de reducción de los cultivos debido al stress hídrico que se produce por la insuficiencia de «agua disponible o útil». Adicionalmente, existen otros posibles efectos como la reducción del vigor de la planta, el incremento en la susceptibilidad a las enfermedades y daños producidos por insectos y la existencia de problemas nutricionales. Unas tasas bajas de infiltración de agua en el suelo pueden exigir unos tiempos de riego mayores o más frecuentes, incrementándose las pérdidas de agua por evaporación y disminuyendo el rendimiento del riego.

Los resultados experimentales obtenidos para el rendimiento de la cubierta vegetal empleada en este modelo, varían en función del tipo de suelo. Mientras que en el Cambisol dístrico, pobre en bases, se produce un incremento en la producción, probablemente debido al aporte de K^+ con la solución de riego, elemento esencial para las plantas, en el Cambisol calcárico disminuye claramente la producción, debido a la dispersión que sufren los coloides arcillosos, muy abundantes en este suelo, que repercute en la destrucción de los agregados estructurales. Sin embargo, a pesar de disminuir el número de plantas desarrolladas, éstas son más grandes y frondosas, ya que al existir una menor población de *Cynodon dactylon* disminuyen los fenómenos de competencia.

Todos estos aspectos conducen, en último término, a un aumento de los costes y/ o un descenso en el rendimiento de las cosechas, así como a problemas en el manejo del agua y en la conservación de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- ASANO, T. y PETIGROVE, G.S. 1987. Using reclaimed municipal waste water for irrigation. California Agric. 45.
- AYUSO, H.; HERNANDEZ, T.; GARCÍA, C. y COSTA, F. 1992. Utilización de un lodo aerobio como sustituto de fertilizante fosforado inorgánico. Suelo y Planta vol. 2 n°2; 271-280.
- BUSTAMANTE, I. 1988. El suelo como agente depurador de vertidos líquidos contaminantes. CIDE. Servicio Geológico. Monografía n°49 Madrid.
- CALVO DE ANTA, R. 1997. El conocimiento del suelo como principio básico de la gestión de suelos contaminados. Ponencias del 50 Aniversario de la S;E;C;S; Madrid: 211-239.

- CRESPO ALÍA, M.A.; DE LA CRUZ CARAVACA, M.T. Y PALOMAR G^a-VILLAMIL, M.L. 1999. Comportamiento de dos tipos de suelos (Cambisol dístico y Cambisol calcárico) frente al riego con agua enriquecida en tensoactivos y simulación de lluvia ácida. V Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Vol I Residuos urbanos; plásticos, metales, papel, materia orgánica, aguas residuales; 35-44.
- CRESPO ALÍA, M.A. DE LA CRUZ CARAVACA, M.T. y PALOMAR G^a-VILLAMIL, M.L. 1996. Evolución temporal de los percolados obtenidos en dos tipos de suelos sometidos a riegos con aguas ácidas y aguas enriquecidas en tensoactivos. IV Congreso de la S;E;C;S; Información de suelos para el siglo XXI. Lleida; 75-80.
- DEGRÈMONT, F. 1976. Análisis y calidad de las aguas.
- K. EL FALAKI, C. PERRIN, L. BELKESSAM, A. PEISAJOVICH y G. MARTIN 1994. Impacto de los detergentes sobre los sedimentos. Movilización de metales. Tecnología del agua n°128; 25-30.
- MACÍAS, F. 1993. Contaminación de suelos; hechos y perspectivas. V Reunión Nacional de Geología Ambiental Ordenación del Territorio. Ed. Roque Ortiz. Murcia; 53-74
- MANZANO QUIÑONES, M.A.; QUIROGA ALONSO, J.M.; PERALES VARGAS-MACHUCA, J.A.; NEBOT SANZ, E. y SALES MARQUEZ, D. 1996. La biodegradación de tensoactivos no iónicos en función de su concentración. Tecnología del agua n°150; 41-46.
- MARTÍN GALVIN, R. 1995. Compuestos orgánicos en las aguas. Ingeniería química 27 (314); 159-165.
- MORENO MERINO, L. 1992. Redes de control de calidad de agua subterránea. I.T.G.E.
- OKPOKWASILI, G.C. y OLISA, A.O. 1991. River-water biodegradation of surfactants in liquid detergents and shampoos. Water Research. (25), 11; 1425-1429.
- PALACIOS, P.L. y CASADO, H. 1993. Lavado de cationes en tres suelos forestales del País Vasco en función del pH del lixiviado forestal. IX Congreso Nacional de Química. Sevilla.
- PALOMAR, M.L.; CRESPO, M.A.; DE LA CRUZ, M.T. GARRIDO, f. y VICENTE, J. 1995. Procesos edáficos que influyen en la autodepuración del Arroyo de la Torre (Las Rozas de Madrid). XX Reunión Nacional de S;E;C;S;; 225.232
- PATOCKA, J. Y PULLIAM, G. 1990. Biodegradation and secondary effluent toxicity of ethoxylated surfactants. Water Research. (24).8; 965-972.
- PESSON, P. 1979. La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundi-prensa. Madrid.
- RAMOS, N.C. y NACCI, S. 1997. Estabilidad estructural de agregados superficiales en suelos del Anoia-Penedés (Barcelona) frente al humedecimiento y el impacto de las gotas de lluvia. Edafología n° 3-1: 3-12
- RUIZ CRUZ, J. 1987. Contaminación de los cursos de aguas naturales por los detergentes sintéticos. XVIII. Biodegradabilidad de tensoactivos catiónicos por diferentes métodos de ensayo. Grasas y aceites vol. 38. (6); 383-388.
- SASTRE, I.; VICENTE, M.A.; WALTER, I. y LOBO, M.C. 1993. Influencia del aporte continuado de lodos residuales sobre las propiedades fisicoquímicas de un suelo. IX Congreso Nacional de Química. Sevilla.