
Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental

*Quinta Edición
Curso 2007-2008*



○○○
○○○
○○○
UPC

Asignatura de Ingeniería Ambiental

*ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña*

Barcelona, abril de 2008



El acto de entrega del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su 5ª Edición del curso 2007-2008, tuvo lugar en la Aula Màster A3 del Campus Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya, el miércoles 30 de abril de 2008.

Al acto fue presidido por el Prof. Miquel Barceló, Comissionat per al Desenvolupament Sostenible de la Universitat Politècnica de Catalunya, y contó con la participación del Dr. Carlos Campos, antiguo alumno, y de Daniel Tùgues, Cap de l’Unitat de Projectes Estratègics d’Agbar Aigua que pronunció una conferencia titulada “L’aigua”, de Emi, madre de Marcel, de varios amigos de la familia y de numerosos alumnos de Ingeniería Ambiental del curso 2007-08 y anteriores.

El Comité de Selección de los premios incluyó un total de 11 personas: los alumnos del Comité Técnico de Ambient 2008, Victor Bonilla, Miquel Crusells, Anna Díaz, Olalla Gimeno, Josep Oriol Riba y Mariona Pahisa, y cinco profesores de la Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

El premio fue otorgado al alumno David Abadías Gómez, por la redacción del trabajo titulado “Las cápsulas vientre plano”, que lo recogió personalmente de manos de Emi Turull.

Prof. Rafael Mujeriego
Abril de 2008.





Invitados, alumnos y alumnas premiados y alumnos organizadores del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su 5ª Edición del curso 2007-2008. Reportaje fotográfico amablemente realizado por Ceferino Robledo.

Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2007-2008

LAS CÁPSULAS VIENTRE PLANO

David Abadías Gómez

RESUMEN

Las cápsulas Vientre Plano son un producto comercializado por Biocentury. Según su publicidad podrían clasificarse como productos adelgazantes. Contienen fermentos lácteos que forman parte de la flora intestinal. Se pretende mostrar su influencia en el organismo.

Les càpsules Vientre Plano son un producte comercialitzat per Biocentury. Segons la seva publicitat podrien classificarse com a productes per aprimar. Contenen ferments làctics que formen part de la flora intestinal. Es pretén mostrar la seva influencia en l'organisme.

INTRODUCCIÓN

Se ilustrará el contenido de cada cápsula y que efectos puede acarrear a nuestro organismo. Además se estudiará la flora del tracto gastrointestinal para conocer como la entrada de nuevos microorganismos puede afectar. Con este fin se realizará una simulación de cultivo del contenido de las cápsulas con las mismas condiciones que se encuentran en nuestro sistema digestivo.

Por lo tanto esta comunicación constará de tres apartados, dos teóricos y uno práctico. Las partes teóricas constan del estudio de las bacterias y del tracto gastrointestinal. De acuerdo con esta información se elaborará la parte práctica, tras realizar varios experimentos para comprobar la supervivencia y los efectos de las bacterias contenidas en las cápsulas.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son:

1. Evaluar el efecto de estas bacterias sobre el organismo.
2. Evaluar la capacidad de supervivencia de los fermentos lácteos hasta llegar al tracto gastrointestinal.

INFORMACIÓN SOBRE LA CÁPSULAS

Según el prospecto cada pastilla contiene: fermentos lácteos (Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus bulgaricus, Streptococcus thermophilus), lactosa, colorante, carbón vegetal, estearato de magnesio, dióxido de silicio y gelatina. Cada cápsula contiene 290 mg de fermentos lácteos y se recomienda tomar dos cápsulas cada mañana antes del desayuno.

Los fermentos lácteos son capaces de sobrevivir en medio ácido moderado. En el prospecto se recomienda la ingesta de las cápsulas antes del desayuno, esto es debido principalmente a que en ese momento se encuentra menor cantidad de jugos gástricos en el estómago. Los jugos gástricos están compuestos por enzimas digestivas y ácido clorhídrico, por lo que tiene un pH muy bajo (pH=1).

Las cápsulas contienen carbón vegetal mayoritariamente. Esta sustancia tiene una capacidad de adsorción muy alta, lo que puede contribuir a captar ácido clorhídrico aumentando el pH del medio, efecto cooperativo con el estearato de magnesio que a su vez ejerce la función de tensoactivo, por lo que se utiliza como lubricante. La lactosa es un disacárido que sirve de sustrato a las bacterias.

DESCRIPCIÓN DE LAS BACTERIAS

Las bacterias del ácido láctico son Gram positivas, normalmente inmóviles y no esporuladas, crecen anaerobiamente y dan lugar a ácido láctico como principal producto de su metabolismo fermentativo. A diferencia de muchos anaerobios la mayoría no son sensibles a la presencia de O₂, son anaerobios aerotolerantes. La mayor parte de las bacterias del ácido láctico obtienen energía solo del metabolismo de los azúcares, están restringidas a habitats ricos en azúcares.

Los Lactobacillus acidophilus y Lactobacillus bulgaricus son bacterias típicamente bacilares, variando desde bacilos largos y delgados a cortos y curvados, son homofermentativos, metabolizan los azúcares produciendo lactato como único producto. Los Lactobacillus se encuentran

normalmente en productos lácteos y se emplean para la producción de leche fermentada y yogurt. Los *Lactobacillus* son los que resisten mejor las condiciones de acidez; se desarrollan bien en valores de pH entre 4 y 5. Lo que les permite seguir creciendo durante las fermentaciones lácticas naturales, cuando el valor de pH ha descendido demasiado para que otras bacterias del ácido láctico puedan crecer. Los *Lactobacillus* llevan a cabo las últimas fases de la mayoría de las fermentaciones acidolácticas. Estos microorganismos no son patógenos.

Los *Streptococcus thermophilus* pertenecen al género *Streptococcus*, son homofermentativas y tienen la misma función que los *Lactobacillus*. La diferencia más significativa con los *Lactobacillus* es la temperatura y el pH en el que tienen un buen crecimiento. A diferencia de los *Lactobacillus* encuentran condiciones idóneas para desarrollarse a 10° C, no consiguen un buen crecimiento a temperaturas de 45° C. En cambio pueden crecer en un medio básico con bicarbonato, por ejemplo un caldo con 40 % de bilis.

MICROBIOTA DEL TRACTO GASTROINTESTINAL

El tracto gastrointestinal humano se compone de estómago, intestino delgado e intestino grueso. El estómago es una barrera microbiológica contra la entrada de bacterias extrañas en el tracto intestinal. Aunque la cantidad de bacterias en los fluidos es generalmente baja, las paredes del estómago a menudo se encuentran intensamente colonizadas por bacterias. Éstas son lactobacilos y estreptococos tolerantes a esos ácidos. El pH de los fluidos del estómago es bajo, entre 1 y 2.

El intestino delgado se divide en tres partes, el duodeno, el yeyuno y el íleon. El primero, adyacente al estómago, es ligeramente ácido y recuerda al estómago en cuanto a su flora. Desde el duodeno hasta el íleon se encuentra el yeyuno. Conforme se avanza, el pH se hace progresivamente menos ácido y aumenta el número de bacterias. En el íleon inferior, las bacterias se encuentran en la cavidad intestinal mezcladas con material digestivo. Generalmente se encuentran concentraciones de 10⁵ a 10⁷ bacterias por gramo. La absorción de azúcares, lípidos y aminoácidos se realiza en el intestino delgado.

El intestino grueso tiene gran cantidad de bacterias, esta región puede considerarse como un recipiente de fermentación especializado. Muchas bacterias viven en el interior de su luz alimentándose de nutrientes de la digestión de alimentos. Las actividades de las bacterias aerobias facultativas como la *E. coli* consumen todo el oxígeno propiciando condiciones estrictamente

anaerobias, por lo general se encuentran recuentos inferiores a 10⁷ bacterias aerobias facultativas por gramo de contenido intestinal. El ambiente sin O₂ propiciado por las bacterias aerobias facultativas favorece el crecimiento intenso de bacterias anaerobias obligadas, su número es enorme, suele rondar los 10¹⁰-10¹¹ células por gramo de contenido intestinal, correspondiendo la mayoría a distintas especies de bacteroides. En el intestino grueso gracias a la flora intestinal se metabolizan los ácidos biliares, que mezclados con el material digestivo restante y fermentados propician la obtención de vitaminas y de moléculas orgánicas complejas. La flora intestinal del intestino grueso es la que mayor influencia tiene sobre nuestro organismo.

Los lactobacilos representan una minoría de la flora intestinal de los humanos, se encuentran en mucha menor cantidad que otras bacterias del tracto intestinal. Realizan reacciones más simples que otros tipos de bacterias. El resto de flora intestinal como pueden ser las enterobacterias, *Enterococcus faecalis*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, *Peptococcus*, *Peptostreptococcus*, *Ruminococcus* o *Clostridius* realizan funciones más significativas.

DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS CON LAS CÁPSULAS

En una primera serie de experimentos se pretende determinar la existencia y la actividad real de las bacterias contenidas en las cápsulas.

Se preparan varios tubos con lactosa como sustrato. Se mide el pH del sustrato. Se añaden dos cápsulas por tubo, y se vuelve a medir el pH. Estas medidas se realizan para observar el efecto del contenido de las cápsulas. Ya que el carbón vegetal lavado puede según su origen puede modificar el pH de la mezcla. A partir de este primer resultado podremos extrapolar si la ingestión de estas cápsulas contribuye a crear un medio más básico que el estomacal en el que las bacterias puedan sobrevivir.

Pasados 4 ó 5 días se mide el pH de las muestras, y según el número de tubos positivos se podrá determinar si las bacterias contenidas en las cápsulas están activas. Se considera un resultado positivo aquel tubo que haya sufrido una reducción de pH y presente grumos con leche fermentada o yogurt.

Establecida la actividad de las bacterias, se prepara una segunda serie de experimentos, con los que se pretende simular las condiciones a lo largo del tracto gastrointestinal. Se preparan placas de Petri con lactosa y agar-agar como sustrato. A las que se añadirá una disolución de ácido clorhídrico de

forma que el pH final esté entre 1 y 2. A partir de 15 minutos se añade una disolución de bicarbonato de tal forma que el pH aumente progresivamente hasta llegar a un valor entre 5 a 6. El bicarbonato es el componente de las sales biliares que provoca el aumento de pH de forma natural en el tracto. Alcanzado el pH deseado se deja reposar la placa de Petri a temperatura de 37° C. Pasado un tiempo de 1 o 2 días se comprueba la formación o no de colonias de bacterias. La existencia de colonias se considera resultado positivo, lo que confirmaría la utilidad de las cápsulas como aporte de flora intestinal. La realización de esta segunda serie de experimentos resultó más compleja que la primera debido a la utilización de ácido clorhídrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.

Debido a que no se dispone de un laboratorio ni de material de alta precisión, los resultados de los experimentos se supondrán cualitativos. De todas formas esto no ha de suponer inconveniente a la hora de extraer conclusiones, puesto que los experimentos no buscan cuantificar, sino interpretar los efectos de las cápsulas.

Para la primera serie de experimentos se prepararon cinco recipientes, la leche fue el sustrato empleado para el crecimiento microbiano, por estar compuesta principalmente de lactosa. Para esterilizarla se ha hervido, una vez enfriada se ha retirado la nata por estar ésta compuesta de grasas y no de lactosa.

En cada recipiente se ha introducido un volumen de sustrato diferente, de tal forma que al añadir las cápsulas cada tubo contenga diferente concentración de bacterias. Los resultados han sido positivos en todos los tubos, véase la figura 1. Se observan grumos de yogurt y una reducción del pH. En un experimento paralelo se comprobó que el carbón vegetal de las cápsulas contribuye a aumentar el pH.



Figura 1. Grumos de yogurt obtenidos de los tubos.

Para la realización de la segunda serie de experimentos el sustrato se coloca en la base de las placas de Petri como soporte de bacterias. Se espolvorea el contenido de las cápsulas sobre el sustrato de tal forma que todo él quede cubierto. Se trazan una serie de surcos en el sustrato para que el polvo penetre.

Preparada la placa de Petri se procederá al ataque químico, este ataque pretende simular el que experimentaría la cápsula al llegar al estómago. Para llevar a cabo este ataque se añadió ácido clorhídrico 0,1 M hasta cubrir el contenido de la placa de Petri y se dejó reposar durante un tiempo de 15 a 20 minutos. Este ataque químico corresponde a la digestión macromolecular.

Tras este tratamiento el pH en las placas de Petri es de aproximadamente 2, puede observarse en la figura 2 como el ácido ataca al sustrato, digiriéndolo.



Figura 2. Fase de digestión con HCl.

A los 15 minutos se aumentó el pH hasta un valor entre 5 ó 6, simulando lo que ocurre de forma natural en el organismo gracias a las sales biliares. Cuyo contenido en bicarbonato provoca este aumento de pH. El experimento se procuró realizar de forma parecida a la realidad, lo que es difícil, ya que el sistema digestivo funciona como un reactor en pistón y nuestro experimento es un reactor de mezcla completa. En el organismo el cambio de pH es progresivo y cada sección tiene un pH diferente, en cambio en el experimento los cambios de pH serán instantáneos. Para evitar cambios de pH muy bruscos y tratando de asemejarlo a la realidad se aumentó el pH de forma progresiva, para ello cada 4-5 minutos añadimos un volumen pequeño de una disolución saturada de bicarbonato hasta conseguir un pH de 5 a 6. De este modo se redujo el riesgo de que las bacterias murieran a consecuencia de cambios excesivamente bruscos de pH.

Con cada adición de bicarbonato se forma una espuma muy densa sobre la muestra, como puede observarse en la figura 3, el ácido clorhídrico reacciona con el bicarbonato dando dióxido de carbono, esta espuma es incómoda para trabajar y no se puede retirar porque arrastraría bacterias. La muestra se aireó para disminuir la espuma. Durante la realización de esta etapa no es necesario preocuparse por la esterilización o por la entrada de nuevos microorganismos, ya que las bacterias patógenas en un pH tan bajo morirían. Se deja reposar la muestra 4 días.



Figura 3. Fase de asimilación con HCl y bicarbonato.

Los resultados tras 4 días en las placas de Petri han resultado negativos. No se ha formado ninguna colonia. Resultado que no es sorprendente, pues un tratamiento con ácido de pH 1 o 2 aumenta en 100 ó 1000 veces en contenido de protones que convienen al medio del desarrollo natural de estas bacterias, por lo que la supervivencia es difícil. Puede confirmarse que el estómago es una barrera

microbiológica eficiente y que difícilmente las cápsulas vientre plano pueden contribuir a la flora intestinal en condiciones estomacales normales.

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de los experimentos y de la información compilada sobre las bacterias y el organismo permite formular las siguientes conclusiones:

1. Las cápsulas vientre plano no sirven para reducir peso, y no alteran el metabolismo.
2. Las cápsulas vientre plano sirven para la fabricación de yogurt y productos lácteos.
3. Las cápsulas vientre plano son inocuas, no mejoran ni perjudican la salud, son un placebo.
4. En caso de pérdida de la flora intestinal con antibióticos, pueden contribuir a restituir parte de la flora intestinal del yeyuno, pero deben ser ingeridas con antiácidos.

BIBLIOGRAFIA

Madigan, Martinco, Parker. BROK, Biología de los microorganismos. Editado por Prentice Hall, 31ª edición, pág 720-724, 788.

AGRADECIMIENTOS

Querría agradecer a la Dra. Elvira Gómez, doctora en Ciencias Químicas, por la provisión de sustancias y material de laboratorio, a Oscar García y a Jordi Porras estudiantes de Medicina y Biología por su valiosa ayuda en la búsqueda de información.

Segundo finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2007-2008

MODIFICACIÓN ARTIFICIAL DE LA LLUVIA: LA SIEMBRA DE NUBES CON YODURO DE PLATA

Raúl Hospital Bravo

RESUMEN

La precipitación es un mecanismo natural que determina la disponibilidad de agua en una región y que, en ocasiones, incide de manera negativa en forma de granizo, entre otros fenómenos atmosféricos. Por ello se han desarrollado técnicas artificiales para su modificación tales como la siembra de nubes con yoduro de plata. Su eficacia e implicaciones económicas, sociales, ambientales y legales suscitan un debate de fondo que salta intermitentemente a la actualidad, sobretodo en periodos de sequía.

La precipitació és un mecanisme natural que determina la disponibilitat d'aigua a una regió i que, de vegades, incideix de manera negativa en forma de calamarsa, entre d'altres fenòmens atmosfèrics. Per això s'han desenvolupat tècniques artificials per a la seva modificació tals com la sembra de núvols amb iodur de plata. La seva eficàcia i les implicacions econòmiques, socials, ambientals i legals susciten un debat de fons que salta intermitentment a l'actualitat, sobretot en períodes de sequera.

INTRODUCCIÓN

No es necesario discutir el importante papel que juega la precipitación atmosférica tanto en el medio natural como en el humano. La disponibilidad de agua, como compuesto básico de la vida, es necesaria para el funcionamiento de cualquier ecosistema; también las comunidades humanas requieren su presencia para garantizar el abastecimiento, el riego agrícola, las actividades industriales y, en general, el desarrollo de la mayoría de actividades. Como contrapunto, la precipitación, en forma de granizo, puede representar graves daños en cosechas y bienes materiales. La niebla también supone un serio problema de visibilidad en las instalaciones aeroportuarias, que debe ser minimizado para garantizar el tráfico aéreo.

Es por todo ello que desde hace varias décadas múltiples investigadores han intentado desarrollar métodos capaces de poder modificar la precipitación, siendo la siembra de nubes con yoduro de plata el más común. No obstante, a día de hoy no se han aclarado completamente la totalidad de aspectos que involucra esta técnica, empezando por su auténtica eficacia y las implicaciones ambientales que supone tanto variar el régimen pluviométrico como la emisión del yoduro de plata a la atmósfera.

OBJETIVOS

Los objetivos de la presente comunicación son desarrollar sintéticamente los siguientes contenidos mediante recopilación bibliográfica y extraer de ellos conclusiones:

1. Antecedentes históricos de la siembra de nubes.
2. Mecanismos de precipitación y de actuación del yoduro de plata.
3. Implicaciones ambientales y de tipo social.

ANTECEDENTES

En 1891 el americano Gothmann patentó un procedimiento que consistía en sembrar las nubes con ácido carbónico líquido, que debía ser disparado con un cañón. En 1930 el holandés W. Veraart consiguió resultados positivos con el empleo de dióxido de carbono sólido (hielo seco) por lo que se le puede considerar el verdadero inventor de la lluvia artificial, pero su imposibilidad para explicar el proceso físico del experimento le restó credibilidad y no atrajo el interés de los científicos. En 1938, el profesor H. G. Houghton del MIT roció soluciones higroscópicas (que atraen el agua) en nieblas para disiparlas. Fue Findeisen, en 1942, a partir de la teoría de los cristales de hielo, quien demuestra la posibilidad de estimular la lluvia y de combatir el granizo y la formación de hielo en los aviones. Poco después, en 1946 los americanos Langmuir y Schaefer, con el patrocinio de General Electric, provocaron lluvia con la

siembra de hielo seco en las nubes; sus ensayos de laboratorio y experimentos, ampliamente divulgados, ensancharon el conocimiento de los mecanismos de la precipitación y demostraron el valor científico del invento. A estos avances se le unen un poco después los de un colega suyo, Vonnegut, el cual descubrió que otras sustancias, como el yoduro de plata o el yoduro de plomo, constituían efectivos núcleos de hielo; pero también puso en evidencia la complejidad de las aplicaciones prácticas y la dificultad para su posible comercialización.

A partir de los años 60 y 70 se sucedieron en Estados Unidos múltiples proyectos de investigación que pretendieron incluso modificar huracanes en la cuenca atlántica norteamericana (Proyecto Cirrus). También la empresa privada se interesó en el tema y se fundaron múltiples compañías que ofrecían la siembra de nubes entre sus servicios. En el resto del mundo se promovieron proyectos en Argentina, Australia, China, Cuba, España, Honduras, Italia, Marruecos, México, Sudáfrica, Tailandia...

Merece especial atención el caso de Israel. Su extrema escasez de agua impulsa al país a desarrollar múltiples sistemas para incrementar el agua disponible. Por ello desde hace 30 años siembran las nubes sobre el mar de Galilea (de agua dulce), consiguiendo supuestamente unas precipitaciones un 18% superiores.

El hecho de que se utilizara la siembra de nubes como arma bélica en la Guerra de Vietnam, determinó la aparición de sus primeros detractores. Desde marzo de 1967 hasta julio de 1972 la operación militar Popeye sembró nubes con yoduro de plata para extender el monzón sobre Vietnam del Norte. Se aumentó entre 30 y 45 días la duración del monzón en el área objetivo. En 1978 se firmó un tratado internacional que prohíbe la utilización de modificaciones meteorológicas con fines bélicos.

MECANISMO DE PRECIPITACIÓN

La precipitación es un mecanismo natural que forma parte del ciclo hidrológico. Comprende la caída por gravedad de agua en cualquier estado desde la atmósfera. Se trata de un fenómeno muy complejo aunque se puede simplificar en lo que sigue. Cuando una masa de aire húmedo se eleva, se enfría debido al gradiente térmico que existe en la atmósfera, con lo cual el vapor de agua se condensa pasando al estado líquido. Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento, se forman cristales de hielo. Este proceso de condensación requiere una semilla llamada núcleo de condensación, alrededor de la cual las moléculas de agua puedan adherirse. Los

más habituales son partículas de polvo en suspensión (arcillas u otras sustancias en forma de aerosol). Las partículas que contienen iones son efectivos núcleos (entre ellos el yoduro de plata), por ello las nubes de evaporación marina, al contener sales, tienen una gran capacidad de precipitación.

El proceso no acaba aquí, las gotitas iniciales chocan entre sí y pueden fragmentarse, evaporarse o seguir creciendo por coalescencia (una gota debe ser mucho mayor que la otra). En este último caso la gravedad vence las fuerzas de fricción creadas por la turbulencia de la nube y precipitan. No obstante, en ausencia de núcleos de condensación, las gotas de agua pueden existir sobreenfriadas a temperaturas incluso de -35°C, en las llamadas "nubes frías". A esta temperatura pueden congelarse sin núcleos. La rápida liberación del calor latente de fusión crea una corriente ascendente convectiva que colabora con el proceso de precipitación. Al caer, los cristales de hielo se funden si la temperatura de las capas más bajas de la nube es suficientemente alta, o bien continúan creciendo formando nieve y, en última instancia, el temido granizo, tan perjudicial para la flora y las cosechas.

LA SIEMBRA DE NUBES CON YODURO DE PLATA

El yoduro de plata (AgI) es una sal de la plata, en forma de sólido cristalino de color amarillo claro. En condiciones estándar, tiene una alta densidad de 5,675 g/cm³ y es prácticamente insoluble (3•10-7g/100ml). Su estructura microscópica es muy semejante a la del hielo y, gracias al fenómeno llamado epitaxis, sus cristales pueden crecer conjuntamente en determinadas direcciones, convirtiéndola en la sal indicada para la siembra. Existen diferentes procedimientos de siembra en función del objetivo deseado:

Aumento de la precipitación

La siembra empieza localizando mediante teledetección nubes con características apropiadas para ser sembradas. Estas nubes son generalmente cúmulo-nimbos de gran desarrollo vertical y, por tanto, con su cima a muy baja temperatura. Contienen agua líquida sobreenfriada que, como ya hemos comentado, cristaliza fácilmente en presencia de núcleos de condensación. La sal es activa a temperaturas de -5°C, mucho mayores que con núcleos de condensación naturales. Para incrementar la efectividad, la siembra se realiza directamente en la parte superior de la nube mediante avionetas que llevan portabengalas de yoduro de plata por goteo y/o generadores, que calientan una solución de este compuesto en acetona, a la que se le añade yoduro potásico (KI). Al enfriarse el vapor formado, aparecen cristales de

yoduro de radio comprendido entre los 0.001 y los 0.1 micrómetros. 1g de yoduro puede dar lugar hasta 1015 núcleos de condensación, por lo que las cantidades de yoduro que deben ser emitidas en un proceso de siembra son bastante pequeñas. Según la Organización Meteorológica Mundial, con un gramo de yoduro se podría inducir una precipitación de 1mm en una superficie de 1000 km².

También es posible la siembra de las llamadas "nubes cálidas", cuya parte más fría se encuentra a una temperatura superior a 0°C. Para producir lluvia precipitación se introducen núcleos de condensación gigantes (mayores que 20 micrómetros) o higroscópicos como sal común o urea, para compensar el posible déficit de gotas grandes, y ocasionar una secuencia de choques y crecimiento del tamaño de las gotas (coalescencia). Uno de los problemas que plantea esta técnica es que necesita emplear cantidades elevadas de material de siembra, del orden 100 kg de sal para producir 1 mm de lluvia sobre un área de 1000 km². A pesar de las limitaciones se han realizado algunos experimentos alentadores no concluyentes.

Cualquiera que sea el método empleado, el éxito de la siembra responde siempre a su aplicación en un momento concreto y en nubes adecuadas, que son aquellas que se presentan cuando las condiciones meteorológicas son favorables para originar lluvias por causas naturales, y que tienen capacidad para regenerarse a medida que se disipan por la precipitación; esto quiere decir que no todas las nubes son idóneas y que lo que se intenta por estos procedimientos es hacer que llueva más de lo que llovería de forma natural. En los casos de sequía, por ejemplo, resulta prácticamente imposible mejorar las condiciones porque, las nubes aptas para ser sembradas son muy escasas. Pero aún cuando la situación es propicia, tampoco es seguro un resultado positivo, pudiendo suceder que el efecto se limite a adelantar el comienzo de la precipitación o a intensificar la misma sobre el lugar de actuación a costa de reducirla en áreas vecinas. Esto significa que la actuación sobre las nubes debe hacerse en el momento oportuno para evitar consecuencias contrarias a las deseadas, porque una siembra prematura puede destruir las corrientes ascendentes de aire dentro de la nube y causar la disipación de esta antes de que se regeneren.

Reducción de los daños por granizo

El efecto deseado es inducir la formación de una gran cantidad de piedras de granizo con la esperanza que el peso medio de cada piedra se reduzca, y asimismo la energía cinética de impacto en el suelo. Se consigue aumentando los núcleos de condensación disponibles en la nube y

estableciendo una mayor competencia de agua entre núcleos. Para ello es habitual utilizar tanto la siembra mediante avionetas, como el lanzamiento de cohetes de yoduro o la colocación en tierra de generadores (más económicos pero menos eficaces). Usando generadores, el vapor alcanza la nube gracias a las corrientes ascendentes de aire. El inconveniente de este método es que no puede asegurarse que los cristales de yoduro penetren en las nubes con una concentración suficiente. También es importante el hecho de que estos cristales son fotosensibles y se inactivan con la exposición con la luz del Sol.

En España el tema del granizo reviste una gran importancia ya que el valle del Ebro (y en especial la provincia de Teruel) es una de las regiones europeas con más problemas de granizo. José Luís Sánchez, catedrático de Física de la Universidad de León, es uno de los investigadores más expertos en el estudio de este fenómeno. A partir de campañas realizadas desde 1997 en Lérida, afirma que la siembra mediante yoduro de plata reduce hasta en un 20% la energía cinética del granizo.

Dispersión de la niebla

En el caso de niebla fría, se sitúan en tierra en las inmediaciones del aeropuerto generadores de hielo seco u otra sustancia refrigerante. El hielo seco liberado enfría notablemente el aire provocando la cristalización inmediata de las gotitas de agua, incluso sin núcleo de condensación. Esta práctica está muy extendida dando resultados satisfactorios en todo el mundo. Para dispersar niebla caliente se utilizan fuentes de calor intenso, la introducción de aire seco o la siembra con materiales higroscópicos, métodos costosos y de eficacia limitada.

IMPACTO AMBIENTAL Y CUESTIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y LEGALES

La siembra de nubes incide de manera clara en dos aspectos ambientales. El primero es la emisión de yoduro de plata al ecosistema. Este producto está considerado como no tóxico y moderadamente estable, aunque no hay conclusiones que demuestren que es totalmente inactivo. El hecho de que pueda acumularse en los sedimentos de los embalses hace que pueda ser transformado por reacciones anaerobias en los fangos y llegar a liberar la plata. La plata actúa como un metal pesado y tiene cierta toxicidad. Aunque no es perjudicial para la salud en concentraciones moderadas, produce decoloración de la piel o argiria, y según la fichas de seguridad química es peligrosa para los organismos acuáticos.

El segundo aspecto ambiental es la intervención del hombre en un mecanismo natural básico para

el equilibrio ecológico. Al inducir precipitaciones sobre una zona determinada de interés humano podemos estar privando de agua otras zonas naturales, con el grave daño ecológico que se podría crear.

Además, la modificación del régimen de lluvias crea problemas económicos, sociales y legales, puesto que se podrían recibir denuncias de las zonas limítrofes por "robo" de sus nubes ("efectos fuera de zona"). Por ejemplo, la presunta utilización de la siembra de nubes en el valle del Ebro para prevenir granizadas tiene durante los últimos meses a los agricultores sorianos en pie de guerra; estos achacan la sequía de sus cultivos a la siembra con yoduro que, según ellos, disipa las nubes que se avecinan. Los países limítrofes con China también acusan a la potencia del uso indiscriminado de la siembra en perjuicio de sus precipitaciones. La cuestión legal ha sido planteada en Naciones Unidas y en otros foros internacionales, y aunque no hay una decisión definitiva, muchos países han prohibido estas prácticas. En España no hay legislación alguna, por lo que es arriesgado ponerlo en funcionamiento.

LA SIEMBRA DE NUBES EN LA ACTUALIDAD

Hoy en día alrededor de 24 países practican la siembra de nubes. Entre ellos es China el país que lo hace a mayor escala. Según sus aparatos de propaganda han incrementado las precipitaciones en regiones áridas. Algunos de sus supuestos logros recientes han sido la extinción de un incendio que arrasó 8.300 hectáreas de bosque en el norte de China induciendo una ligera nevada, o la limpieza de Pekín cuando la capital se llenó de arena del desierto del Gobi. Las autoridades chinas han anunciado que sembrarán las nubes que se aproximen a la ciudad los días previos a la inauguración de los Juegos Olímpicos de 2008 para evitar que la lluvia desluzca la ceremonia. Sin embargo, en el verano de 2005 se atribuyó a la siembra de nubes las fuertes granizadas sobre Pekín que causaron graves daños materiales en la ciudad.

En España, cuando parecía que se perdía el interés en el tema después de años de proyectos locales, la presidenta de la Comunidad de Madrid, Esperanza Aguirre, reavivó el debate en 2006 reuniéndose con el Alto Comisionado para el agua israelí para plantear la posible siembra de nubes en el embalse de Atazar, con la intención de incrementar los

recursos hídricos de Madrid y atajar los problemas de sequía.

CONCLUSIONES

1. La evaluación científica de la siembra de nubes es muy difícil debido a la complejidad de los procesos meteorológicos. La mejora constante de los métodos estadísticos, de la modelación numérica y de otras técnicas puede ayudar a mejorar su comprensión.
2. Pese a que se ha demostrado que la siembra de nubes altera su estructura y tamaño y es capaz de congelar gran parte de su agua, no lo está que efectivamente suponga un aumento de la precipitación a nivel del suelo. La siembra es un sistema que mejora notablemente la visibilidad en caso de niebla y que reduce los daños en caso de granizo.
3. La siembra incontrolada puede provocar graves desequilibrios ambientales y problemas de tipo social ya que es capaz de alterar negativamente la pluviometría de una región.

RECOMENDACIONES

1. Los proyectos de siembra de nubes deberían incluir un profundo estudio científico que incluya toma de medidas, análisis estadístico de resultados y cualquier investigación que ayude a la comprensión del fenómeno de precipitación. En cualquier caso deberían preverse todas las consecuencias que la siembra pueda tener en la región, y valorarlas.
2. La siembra de nubes con objeto de aumentar la precipitación debería realizarse como medida de emergencia, priorizando otras medidas como el ahorro de agua, su reutilización, el buen mantenimiento de la red hidráulica.

REFERENCIAS

- Organización Meteorológica Mundial (5-15 de junio de 2001). Informe final abreviado y resoluciones de la quincuagésima tercera reunión del Consejo Ejecutivo. Secretaría de la OMM, Ginebra (Suiza), Anexos III y IV.
- S. Nanía, L. y Gómez Valentín, M. (2006). Ingeniería Hidrológica. Grupo Editorial Universitario, 2ª edición, pág. 33-46.
- http://www.wmo.int/web/arep/wmp/wmp_home_page.shtml

Tercer finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2007-2008

CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: NITRATOS Y COLIFORMES

Jordi Gallart

RESUMEN

La presencia de contaminantes en las aguas subterráneas es de gran importancia, ya que pueden provocar toxicidad en los seres humanos, causando algunas enfermedades graves. El objetivo ha sido identificar los niveles de contaminación de las aguas subterráneas debido a los niveles de nitratos y coliformes. Para ello, se han tomado diversas muestras de agua tanto superficial como subterránea a partir del análisis de pozos.

La presència de contaminants en aigües subterrànies és de gran importància, ja que poden provocar toxicitat als éssers humans, podent-ne causar algunes malalties greus. L'objectiu ha estat identificar els nivells de contaminació de les aigües subterrànies a causa dels nivells de nitrats i de coliformes. Per a la realització, s'han pres diverses mostres d'aigua tant superficial com subterrània a partir de l'anàlisi de pous.

INTRODUCCIÓN

Existen zonas dónde el agua de consumo humano contiene elevados niveles de nitratos (NO₃⁻). Sin embargo, no existen estudios sobre la magnitud del problema ni del origen de esta contaminación. Una situación similar ocurre para la contaminación de aguas con coliformes, y tampoco existen estudios publicados sobre la relación entre ambas fuentes de contaminación.

La contaminación de aguas con nitratos puede provocar toxicidad aguda en seres humanos, sobretodo en niños, además de otros efectos adversos como el aumento de la frecuencia de abortos espontáneos y la posibilidad de provocar cáncer en el caso de consumo de agua con altas concentraciones de nitratos sea prolongada. Por este motivo, se ha establecido en EEUU y en la UE un valor crítico de concentración de nitrógeno en forma de nitratos en agua de 10 mg/l y de 11,3 mg/l respectivamente.

El origen de este nitrato es variado, pudiendo provenir tanto de fuentes localizadas como no localizadas. Las fuentes no localizadas son todas aquellas donde no existe un punto fijo de entrada de los contaminantes al sistema, como es el caso de la agricultura, una de las actividades humanas que más contribuye a la contaminación con nitratos. El aporte de NO₃⁻ en los suelos bajo agricultura puede provenir tanto de la mineralización del N orgánico (humus, estiércol, etc.) como de la aportación de fertilizantes nitrogenados.

En el caso de los nitratos procedentes de las fuentes de contaminación localizadas (FCL) son generalmente restos orgánicos, de origen humano como las aguas residuales o fosas sépticas, o animal, como los restos provenientes de salas de ordeño, gallineros, porquerizas, etc.

El NO₃⁻ que se forma de estos restos por los procesos de mineralización y nitrificación del N orgánico puede contaminar el agua subterránea al lavarse con las lluvias, especialmente cuando estos restos se acumulan a la intemperie. Estas aguas pueden infiltrarse rápidamente por las averías de las paredes de los pozos o lentamente cuando en su movimiento descendente alcanzan el acuífero. Debido a que el movimiento lateral del agua subterránea generalmente es lento, la contaminación por FCL provoca picos con valores altos de nitratos solamente en los puntos cercanos a la fuente de contaminación, y la polución generalmente no se extiende a todo el acuífero.

Además del nivel de aporte de nitratos, existen otros factores que pueden hacer variar el contenido de NO₃⁻ del agua subterránea. Contenidos bajos de oxígeno disuelto en el agua y abundante presencia de materia orgánica en la misma crean condiciones favorables para la desnitrificación, proceso en el que las bacterias anaerobias facultativas utilizan el NO₃⁻ como aceptor de electrones y la materia orgánica como fuente de energía, perdiéndose parte del N en

forma gaseosa (N₂O, N₂). Las deficiencias de O₂ también inhiben el proceso de formación de nitratos a partir del amonio. En consecuencia, ambos procesos determinan una disminución del nivel de nitratos en las aguas subterráneas.

Otro parámetro importante de calidad de aguas para el consumo humano es la presencia de bacterias coliformes. Estas, a pesar de no ser patógenas, son indicadoras de presencia de microbios potencialmente patógenos, y por lo tanto son un índice de deficiencias sanitarias en la fuente de agua, ya que la ingestión de agua contaminada por coliformes incrementa el riesgo de contraer enfermedades.

Dentro de los coliformes totales (CT), se pueden distinguir los coliformes fecales (CF) que son los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas, y otro tipo de coliformes que son residentes naturales en el agua y el suelo. Al igual que en el caso de los nitratos, el movimiento del agua transporta estas bacterias desde el suelo a las aguas subterráneas. Precisamente una de las fuentes de contaminación por coliformes más importantes son los sitios donde se acumula estiércol, como las pasturas bajo pastoreo intensivo y las, zonas de bebedero animal.

OBJECTIVOS

Los objetivos principales de este estudio son:

1. Determinar la importancia de la contaminación de aguas con nitratos y coliformes en zonas con importante actividad agrícola.
2. Identificar las posibles fuentes de contaminación y su importancia.
3. Estudiar la relación entre la contaminación por nitratos y coliformes fecales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se han tomado muestras de aguas superficiales (ríos, arroyos y cañadas) y de aguas subterráneas en pozos ubicados en zonas rurales de importante actividad agrícola tanto extensiva como intensiva. Las muestras de agua superficial se han tomado en distintos puntos de los ríos y estaciones del año.

El análisis de coliformes se ha realizado en las muestras de los pozos según la técnica de filtración por membrana, para detectar los coliformes fecales y totales. En cada serie de análisis se ha incluido como testigo una muestra de agua desionizada esterilizada.

Se tiene que comentar también, que se ha recolectado información sobre las características de los pozos que son necesarias para el estudio, como profundidad, año de construcción, tipo de construcción y distancia del mismo a FCL. Los pozos situados a más de 50 m de las FCL se han denominado pozos lejanos, mientras que los situados a menos de 50 m pozos cercanos.

CONTAMINACIÓN CON NITRATOS

Las concentraciones de nitratos en aguas superficiales son siempre iguales o inferiores a 2 mg/l. Estos valores de concentración están muy por debajo del nivel crítico propuesto por las más influyentes instituciones ambientales, de 10 mg/l, lo que indica que las aguas superficiales no están contaminadas con nitratos. Estos resultados de bajas concentraciones de nitratos en aguas superficiales serían esperables, ya que este ion tiende con el agua de infiltración hacia las aguas subterráneas y generalmente el agua de escurrimiento superficial tiene concentraciones bajas de NO₃⁻.

Los resultados de los muestreos del agua subterránea de todos los pozos presentan una importante variación en su concentración de NO₃⁻, oscilando entre 1 y 93 mgN/l, como puede apreciarse en la Figura 1.

La distribución de las concentraciones es sin embargo, marcadamente desplazada hacia los valores bajos de NO₃⁻, observándose que el 76% de los pozos contienen niveles de nitratos inferiores al nivel crítico, correspondiendo un 29% a valores inferiores a 3 mgN/l. El 24% de los pozos contiene niveles no aceptables para el consumo humano.

La concentración promedio es de 9 mgN/l, apenas por debajo del admitido para el consumo humano (10 mg/l). Este resultado es preocupante, ya que aunque la distribución es asimétrica (existen muchos pozos con menos de 10 mg/l y muy pocos con más, pero estos se alejan mucho de la media, incluso existiendo uno con una concentración de 93 mg/l), el valor promedio es el indicador que mejor refleja el nivel de exposición de los consumidores de agua a este contaminante.

Cuando se analiza la concentración de nitratos en aguas subterráneas de pozos lejanos, se observa que presentan un valor promedio de 4,5 mgN/l, con un rango de variación entre 1 y 22 mgN/l. La gran mayoría de estos pozos (93%) tienen contenidos de NO₃⁻ en el agua inferiores al nivel crítico. Es importante destacar, además, que el 43% de estos se ubican en la categoría más baja de clasificación (<3 mgN/l). Los niveles

de concentración de nitratos superiores a 3 mgN/l reflejan el efecto de la actividad humana, y por lo tanto los niveles inferiores al mismo podrían ser considerados típicos de aguas naturales. Debido a la ausencia de FCL los niveles de NO₃⁻ por encima del nivel crítico detectados

en el resto de pozos (7%), podrían estar asociados a la contaminación derivada de la actividad agrícola. Este NO₃⁻ podría provenir tanto de la mineralización del nitrógeno orgánico, como de nitrógeno agregado con el fertilizante nitrogenado.

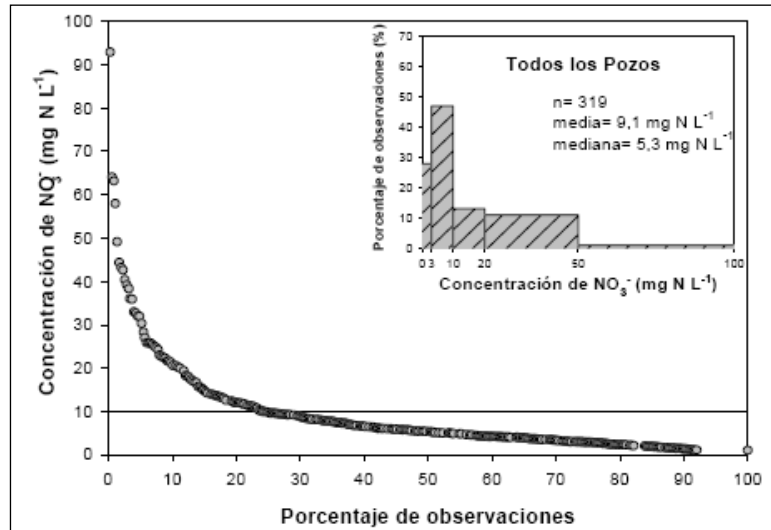


Figura 1. Gráficas de excedencia (externa) y de distribución de frecuencias (interna) para la concentración de nitratos del agua de todos los pozos. La línea horizontal en la gráfica de excedencia es el nivel crítico (10mg/l).

Los pozos cercanos, en cambio, presentan una concentración promedio de 10,5 mgN/l con valores que oscilan entre 1 y 93 mgN/l. Cuando se analiza más detalladamente esta información, se observa que el 69% de los pozos no muestra problemas de contaminación, mientras que el

31% restante presenta contenidos de NO₃⁻ superiores al nivel crítico. Por lo tanto, los pozos cercanos tienen mayor probabilidad de presentar problemas de contaminación por nitratos que los pozos lejanos.

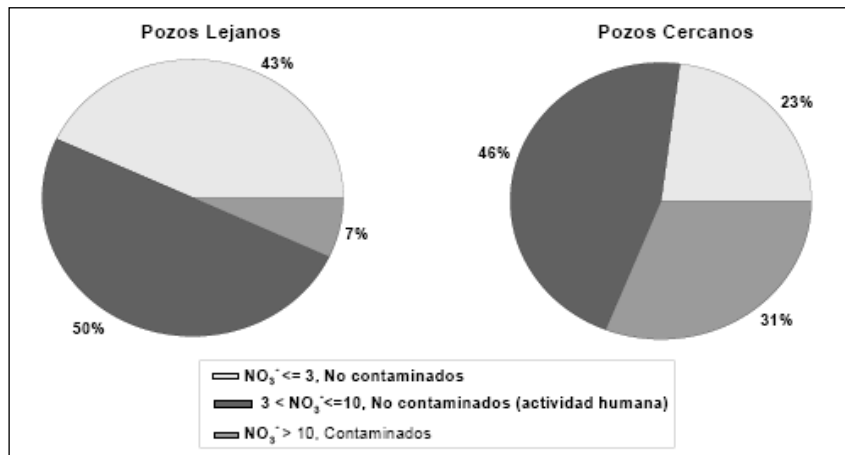


Figura 2. Distribución de la concentración de NO₃⁻ del agua de pozos lejanos y cercanos, según el nivel de contaminación.

CONTAMINACIÓN CON COLIFORMES

Los resultados del recuento microbiológico, expresado en colonias de Coliformes/100 ml

(CC), se presentan divididos en cuatro categorías. En la primera se ha incluido a aquellos pozos en los que no se ha detectado presencia de coliformes, en la segunda a los que han tenido

un recuento de hasta 50 CC, en la categoría 3 a los pozos con recuentos de entre 50 CC y 200 CC, y en la categoría 4 a aquellos con la mayor presencia de coliformes (201-1200 CC). Es importante aclarar que la sola presencia de estos microorganismos en el agua es un indicador cualitativo de contaminación, por lo que aún las aguas con niveles bajos de coliformes son consideradas contaminadas. Sin embargo, cuando aumenta la presencia de coliformes en el agua, aumenta también la probabilidad de que esta contenga algún microorganismo patógeno. El análisis de estos resultados revela una contaminación casi generalizada con CT y menor, pero también importante, con CF.

Los análisis estadísticos nos relacionan la distancia a FCL con la contaminación de pozos con CT y CF. Los resultados muestran un efecto

significativo de la distancia a FCL sobre los CF, pero no sobre los CT. Este resultado puede interpretarse asumiendo que las FCL aumentan la contaminación de aguas por CF, debido a que las mismas son también fuentes de estos microorganismos. Estas conclusiones concuerdan además con los resultados obtenidos para los nitratos. El efecto de la distancia a FCL se representa gráficamente en la Figura 3, donde se observa que la proporción de pozos contaminados con CT (categorías 2 a 4) es similar en los pozos cercanos y lejanos, pero en las categorías superiores la contaminación con CT tiende a ser mayor en los pozos cercanos. Para CF, en cambio, los pozos cercanos presentan mayor contaminación en todas las categorías, y esa diferencia se acentúa en las categorías mayores.

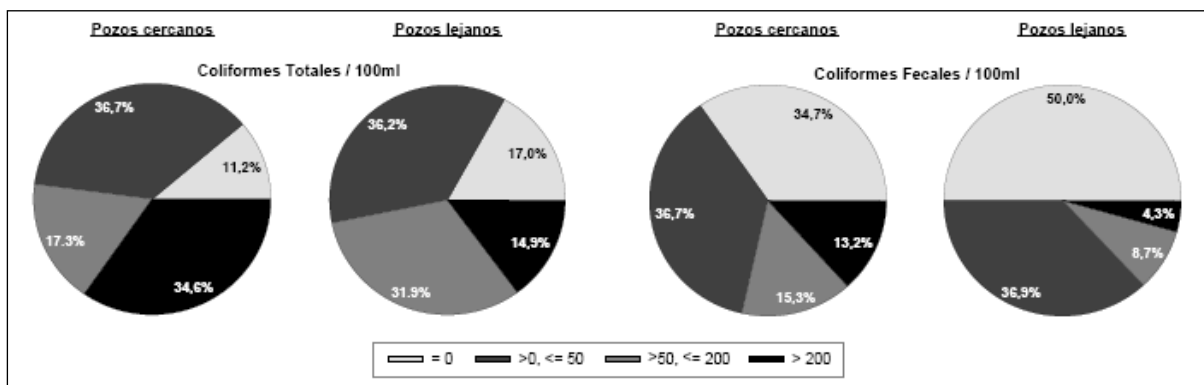


Figura 3. Distribución de la concentración de coliformes totales y fecales según el nivel de contaminación en el agua de pozos lejanos y cercanos.

RELACIONES ENTRE LA CONTAMINACIÓN CON NITRATOS Y CF

Los resultados de los estudios muestran que los pozos cercanos tienen mayor probabilidad de estar contaminados tanto por nitratos como por CF, lo que puede sugerir que los mismos pozos que están contaminados por nitratos también tienden a estar contaminados por coliformes. Sin embargo, cuando se relacionan ambas variables se observa que al menos para los valores extremos, esta relación parece ser inversa.

Se ha observado una tendencia negativa del grupo de pozos más contaminados o con una contaminación intermedia. En cambio para el grupo de pozos menos contaminados, no existe ninguna relación entre estos contaminantes. Una posible explicación de por que los pozos más contaminados con CF tiendan a tener concentraciones bajas de nitratos es que el aumento de la población de coliformes y otros microorganismos incrementa la tasa de asimilación de nitratos para síntesis de

aminoácidos y proteínas, así como el consumo de oxígeno por los microorganismos. Esto último vuelve el medio más reductor, lo que a su vez puede aumentar las pérdidas de NO_3^- por desnitrificación, si existe en el agua materia orgánica disponible como fuente de energía.

CONCLUSIONES

La conclusión principal de este estudio es que los pozos cercanos a FCL tienden a estar más contaminados con nitratos y coliformes que los lejanos. Este estudio se refiere a pozos, con lo que conviene resaltar que la contaminación en él no refleja necesariamente la contaminación en el acuífero, ya que los pozos pueden contaminarse fácilmente por el aporte local si tienen algún defecto de construcción.

Desde el punto de vista de su extensión, la importancia de estos resultados radica en que los mayores niveles de contaminación por nitratos y coliformes han sido encontrados en los pozos

más utilizados para el consumo humano. La fuente de contaminación parece ser localizada, asociada a la presencia de cámaras sépticas, lugares de acumulación de residuos o de concentración animal, y no de la actividad agrícola. Por lo tanto, cuando sea necesaria la construcción de pozos nuevos para el consumo humano, sería conveniente ubicarlos lejos de estos focos de contaminación, así como impedir la concentración de animales en las cercanías.

REFERENCIAS

- Flores, M. (1997). Caracterización de la calidad de agua para bebida animal en explotaciones extensivas. Editorial Universidad de Buenos Aires.
- Herrero, M.A. y Villar, E. (1995). Aspectos químicos y microbiológicos en agua subterránea. Mc Graw Hill, Madrid.
- www.ambiente-ecologico.com
- www.portaldelmedioambiente.com

