

HIDRAULICA 79

OFICIAL DEL INSTITUTO DE HIDROECONOMIA — SUMARIO — AÑO XXV — 1988

ISSN 0505-9461

COMITÉ DE DIRECCIÓN: Ing. Pedro Luis Dorticós
Ing. Alfredo Álvarez Rodríguez
Ing. Andrés Díaz Arenas
Ing. Jesús del Vallín
Ing. Mercedes Arellano

EDITOR: Lic. Guillermo de León Hernández

EDITOR Y EMPLANE: Alejandro Noa Navarro

EDICIÓN: Ninón Alfonso Banítez

FOROS: Rafael Díaz Teresa

Publicación trimestral inscripta como impreso periódico en la Dirección Nacional de Correos, Telégrafo y Prensa. Permiso No. 81241/164. Esta edición consta de 2 500 ejemplares. Impresa en la Unidad de Producción 01 "Osvaldo Sánchez", La Habana, CUBA.

Evaluación de los parámetros hidrológicos extremos observados durante el ciclón "Flora".

Assessment of extreme hydrological parameters observed during "Flora" Cyclone.

Évaluation des paramètres hydrologiques extérieurs observés pendant le cyclon "Flora".

Ing. Nadir Fernández Milanés. — Yuri Ivedchuk

Efecto del Riego sobre el rendimiento del tabaco Virginia Variedad STEIGHT-G-28.

Effect of irrigation on SPEIGHT G.28 variety "Virginia" tobacco yield.

Effet de l'arrosage sur le rendement du tabac "Virginia", Variété SPEIGHT G. 28.

Ing. Agrónomo Contreras García - Ing. Ricardo Cruz Lazo - Ing. Luis Enrique León - CRR. Ing. Rafael Juan García.

Desinfección de aguas comunales tratadas con ozono.

Desinfection of urban drinking water treated by ozone.

Désinfection des eaux communales traitées avec l'ozone

Ing. Carlos P. Noland Empty — Ing. Mario Viñas

Ing. Maira Betatler — Ing. Acela Fernández

— Ing. Pedro Rodríguez — Lic. Rubén Ramos

Margarita Lorenzo

Recomendaciones para la determinación de la norma del escurrimiento anual en la región oriental del país.

Recommendations for the determination of the yearly water flow pattern in the eastern region of the country.

Recommandations méthodologiques pour la détermination de la norme de l'écoulement annuel dans la région orientale du pays.

Ing. Zinevi Iofin

Elementos que componen el conjunto de accesorios durante la perforación a percusión por cable.

Elements integrating the additional assembly for the cable percussion drilling.

Éléments composant les accessoires pendant la forage à percussion par câble.

Ing. Nelson A. González Cabrera.

Producción de metano a partir de desechos de cebadero de toros: efecto del tiempo de residencia hidráulico y la concentración de sólidos volátiles.

Methane production from bull breeding centers: Effect of hydraulic residence time and volatile solid concentration.

Production du méthane à partir des déchets de l'élevage des taureaux: effet du temps de séjour hydraulique et concentration des solides volatiles.

CDr. Mario Viña-Inn. Matilde López-CDr. Silvio Montalvo-Ing. Jorge Alvarez-Téc. Reyna Fernández-Téc. Rigoberto Escobedo-Téc. Marcelina Ruiz-Téc. Dania Ferrer

Influencia del huracán "Kate" sobre la calidad del agua de la Laguna de la Leche.

Influence of "Kate" Hurricane on water quality of Laguna de la Leche.

L'influence de l'ouragan "Kate" sur la qualité de l'eau de la "Laguna de la Leche".

Ing. Ricardo Gómez Carro-CDr. María C. Pérez Eiriz-Lic. María A. Pablonés León-Ing. Celso Pozos Alberdi.

Muro en Zanja de carga.

Head Trench Wall.

Mur en tranchée de charge.

Ing. Gilberto N. Ayes.

Diseño hidráulico analítico de ensanchamientos y estrechamientos graduales supercríticos.

Analytical hydraulic design of supercritical gradual enlargements and narrowings.

Dessin hydraulique analytique des élargissements et engorgements gradués surcritiques.

CS. Ing. Eduardo Velasco Davis

Información de interés.

Information interest.

Information d'intérêt.

Evolución de los nitratos en las aguas subterráneas cársicas tropicales debido a la acción del hombre. Caso de estudio: Cuenca Sur de la provincia de Matanzas.

Assessment of man-action nitrates into tropical karst groundwaters Study case. Southern Basin in Matanzas province.

Evaluations des nitrates dans les eaux souterraines karstiques tropicales par l'action de l'homme. Cas d'étude: Bassin sud de Matanzas.

Ing. Arturo González Báez-Lic. G. Elizabet Grilli García

EVOLUCION DE LOS NITRATOS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS CARASICAS TROPICALES DEBIDO A LA ACCION DEL HOMBRE. CASO DE ESTUDIO: CUENCA SUR DE LA PROVINCIA DE MATANZAS

ING. ARTURO GONZALEZ BAEZ — LIC. G. ELIZABET GRILLO GARCIA

RESUMEN

En el presente trabajo, pretendemos exponer muy resumidamente, los primeros resultados de un estudio del contenido y variaciones de los nitratos en el medio hídrico subterráneo en una zona cársica tropical. Se analiza la influencia del uso de fertilizantes nitrogenados en la calidad de las aguas subterráneas, las transformaciones "metasomáticas" que tienen lugar como una función del tiempo y el espacio, tomando en consideración la incidencia de las lluvias en la infiltración de nitratos dentro del suelo hasta alcanzar el nivel freático, así como los beneficios aportados por el sistema de riego utilizado en esta zona. Mostramos todos los resultados obtenidos mediante gráficos y cálculos numéricos.

Se ofrecen además en este trabajo muchos datos de interés relacionados con el contenido en nitratos en las aguas subterráneas en sentido general, así como las primeras y elementales conclusiones derivadas del mismo, y el análisis de un caso de estudio relacionado con los suelos de cobertura semi-permeables y la posibilidad de retener y/o difundir los nitratos.

INTRODUCCION

La elevada utilización de fertilizantes y la posibilidad de que se produzca una considerable infiltración de los excedentes del agua empleada en el riego, es indudablemente la causa fundamental de la presencia cada vez más notable de nitratos en las aguas subterráneas de las zonas rurales. Estos pueden llegar por vía directa (sumideros, pozos de recarga, etc.) o indirecta (infiltración), a la zona saturada del acuífero.

Nuestra área de estudio corresponde a la Cuenca Sur de la provincia de Matanzas, donde la circulación de las aguas subterráneas se produce a través de fisuras y conductos cársicos, fundamentalmente.

Se estudió el proceso real de infiltración de los nitratos por lixiviación de los abonos nitrogenados que se utilizan en la fertilización del Plan Citrícola «Victoria de Girón», y se trató de cuantificar este aporte, obteniéndose resultados aceptables, aunque hasta ahora parciales. No olvidamos estudiar el comportamiento de algunos suelos poco permeables cercanos al área de estudio, como preparación lógica a un trabajo más detallado que presentaremos oportunamente. Expondremos a continuación parte del proceso realizado y los resultados obtenidos.

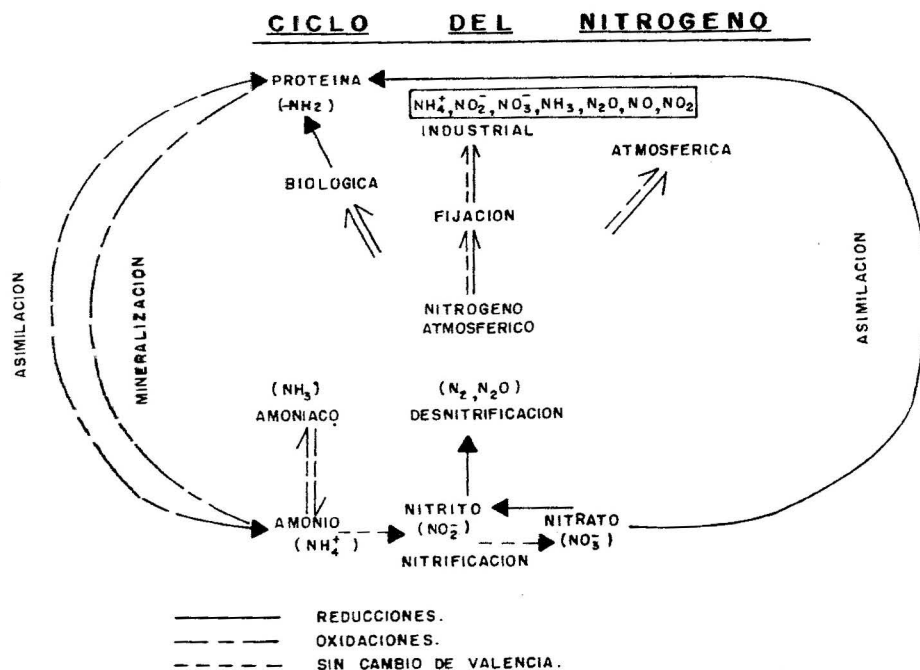
CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS NITRATOS Y EL ORIGEN DE SU PRESENCIA EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Una parte del nitrógeno atmosférico (N_2) se transforma por acción microbiana y se incorpora a organismos vivos en el llamado proceso de «fijación» del nitrógeno, el cual puede ser realizado por un número limitado de organismos. En esta «fijación biológica», el nitrógeno se reduce a amoníaco y seguidamente se convierte en nitritos y nitratos por el proceso de *nitrificación*; de ahí la presencia natural de estos elementos en suelos, aguas y vegetales.

Las plantas pueden asimilar sólo una parte de los nitratos presentes en el suelo, en tanto otra parte se lixivia a las aguas subterráneas y ríos, y el resto queda sometido a un proceso de *desnitrificación*.

Las plantas, excretas animales y tejidos muertos devuelven el nitrógeno fijado al suelo, donde una parte se recicla y otra vuelve a la atmósfera, completando así el «Ciclo del Nitrógeno» (1) (figura No. 1).

Las excretas de animales agrícolas contienen grandes cantidades de sustancias nitrogenadas susceptibles de convertirse en nitratos. En estudios recientemente realizados en el poblado de Guareiras, se detectó la contaminación de un pozo de abasto, ubicado aguas abajo de un cebadero porcino, que en sólo seis meses aumentó su contenido en nitratos en 59 mg/L. En dicho cebadero, parte de sus residuales eran tratados de manera deficiente y parte era vertido sin tratamiento a una cantera, en una zona de calizas cavernosas.



Los fertilizantes artificiales, indispensables para la agricultura, constituyen otra fuente importante de nitratos ambientales. Pueden estas constituirse por distintas sustancias químicas, incluidas el amonio, el calcio, el potasio, el nitrato de sodio y la urea.

La producción de abonos nitrogenados en el mundo, calculado como N, se ha incrementado de 15,8 millones de toneladas en el periodo 1961/1962 — 1965/1966, a 42,3 millones de toneladas en 1974/1975 (Naciones Unidas, 1976).

Según J. Parras Martín, (2) el nitrógeno es aplicado al suelo en forma orgánica como estiércol o urea $(NH_2)_2CO$, o en forma inorgánica como NH_3 , NH_4NO_3 , $(NH_4)_2SO_4$, $(NH_4)_2CO_3$ y $Ca(NO_3)_2$.

En la actualidad, según Huisman, (3) la aplicación de cientos de kg de N/ha, y de fósforo, en algunas decenas de kg de P/ha por año, constituyen una práctica normal; una parte es utilizada por las plantas para su crecimiento y otra se infiltra en las aguas subterráneas, contaminándolas.

Para el caso de terrenos arenosos o sencillamente sueltos, no arcillosos, el por ciento de nitrógeno que alcanza el agua subterránea puede llegar a valores tan elevados como el 50 % (3).

Si consideramos, por ejemplo, una aplicación de 110 kg/ha por año y una infiltración eficaz de 500 mm, tomando el por ciento anteriormente dado, es posible calcular el contenido aproximado de nitrógeno en el agua, aplicando la fórmula (Huisman L., *opus cit.*)

$$C = f \frac{N \text{ (kg/ha} \cdot \text{año)}}{Icf \text{ (m}^3\text{/año)}} \quad (1)$$

en la que:

C, es el contenido en nitrógeno total, del agua subterránea, expresado en kg/m³ o mg/L; f, es el factor que se utiliza para obtener la cantidad de ni-

tratos que se incorpora al suelo, o sea la que potencialmente debe llegar a las aguas subterráneas. Así, $f = 0,05$ para suelos arcillosos, y hasta 0,5 para arenas y suelos sueltos (para formaciones altamente carsificadas prácticamente sin suelos de cobertura puede ser mayor de 0,5, no conociéndose aún su límite superior); I_{cf} , es la infiltración eficaz ocurrida durante un año. Así,

$$C = 0,5 \frac{(110) 10^3 \text{g}}{(0,5) 10^4 \text{m}^3} = 11,0 \text{ g/m}^3 = 11,0 \text{ mg N/L}$$

o, expresados como nitratos,

$$C = 48,7 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$$

La concentración de los nitratos en el agua que se infiltra hacia el manto subterráneo, está en dependencia «de la frecuencia de aplicación y del tipo de fertilizante utilizado», y también «de la cantidad de nitrógeno orgánico e inorgánico ya existente en el suelo» (4). Se señala además, que la permeabilidad y la humedad del suelo, la cantidad de agua aplicada (producto del regadío o las lluvias), y la estratificación del suelo (heterogeneidad), entre otros factores físicos, influyen en el movimiento de los nitratos hacia la zona saturada del acuífero, y por lo tanto en su concentración en el agua subterránea. En la zona de aireación (o «zona no saturada»), el movimiento de los nitratos «se encuentra controlado por fuerzas químicas y gravitacionales», (4) estando dirigido el mismo *verticalmente*, salvo en aquellos lugares con variaciones estructurales locales, donde se puede presentar «cierta variación de la vertical». Algo muy importante señalado por Calvin, y que ubica al nitrato dentro de los llamados *trazadores naturales del agua*, es su lento movimiento a través de la zona no saturada (caso de medios porosos), lo que hace pensar que las altas concentraciones encontradas «en la actualidad en algunos pozos pueden ser debidas a acciones iniciadas muchos años atrás», influyendo también en esto el *espesor de la zona*.

El rápido movimiento vertical que ocurre en la zona de aireación de las formaciones carsificadas reduce sensiblemente este efecto, lo que, unido a velocidades de circulación de las aguas en la zona saturada de 5, 10, 20 y a veces cientos de metros por día, encubre el punto real de entrada del mismo al medio acuífero.

Como los nitratos se desplazan con el agua que se infiltra y escurre subterráneamente, los factores que afectan a esta tendrán el mismo efecto sobre los primeros.

Movimiento y permanencia de los nitratos en suelos de baja permeabilidad.

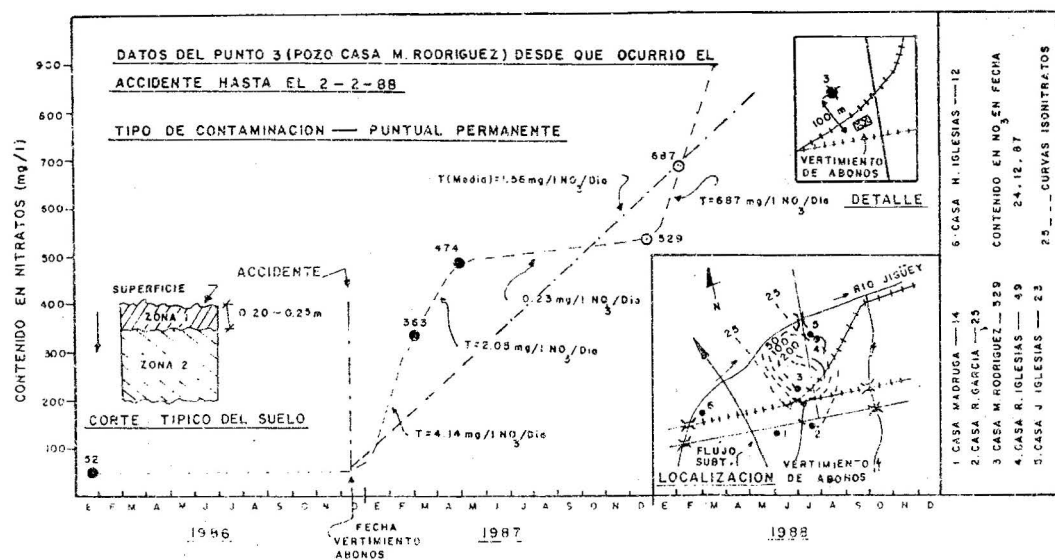
Algo inusual pero probable, ocurrió cerca del poblado del Jigüey, en la provincia de Matanzas, y que nos ha servido de tema para elaborar el presente estudio sobre la permanencia y movimiento de los nitratos en suelos de baja permeabilidad: el descarrilamiento de un vagón de ferrocarril y el esparcimiento de 405 sacos de abono inorgánico, nitrogenado, del tipo nitrato de amonio, sobre el suelo. Esto ocurrió en el mes de diciembre de 1986, y aproximadamente unos 45 días después se conoció del deterioro de la calidad de las aguas del pozo utilizado para el abasto de la casa de Mirta Rodríguez (número 3 en la fig. No. 2), situado a unos 100 m al norte del accidente. A pesar de que en el batey el contenido en nitratos de las aguas del suelo no sobrepasa los 25 mg/L, en este lugar (y en el pozo 4, cercano a unas naves de almacenamiento de abonos) este contenido superaba los 50 mg/L, lo que de hecho indicaba la presencia de fuentes de contaminación muy próximos a ellos.

En este territorio los suelos están representados por dos tipos de composición diferente en el corte, siendo el de la primera (zona 1), de 0,20 a 0,25 m de espesor, compuesta por una mezcla de arcilla con un 4 al 10 %

de materia orgánica; su porosidad es del 57,4 al 52,9 % con buena aireación y la humedad natural varía entre 28,3 al 29,5 %, o sea, de humedad media. La velocidad de infiltración es del orden de 24 mm/h (0,4 mm/min.), y la densidad real del orden de los 261 — 273 g/cm³.

Le siguen los suelos de la zona 2, con materiales de carbonato de calcio. Desde el punto de vista geológico se les conoce como formación Tingüaro, compuesta por margas arenosas sobre calizas arcillosas, cretas endurecidas. Son rocas poco hidratadas con caudales probables en las fuentes de abasto no superior a los 0,5 L/s.

La dirección del flujo subterráneo es aproximadamente hacia el norte nordeste.

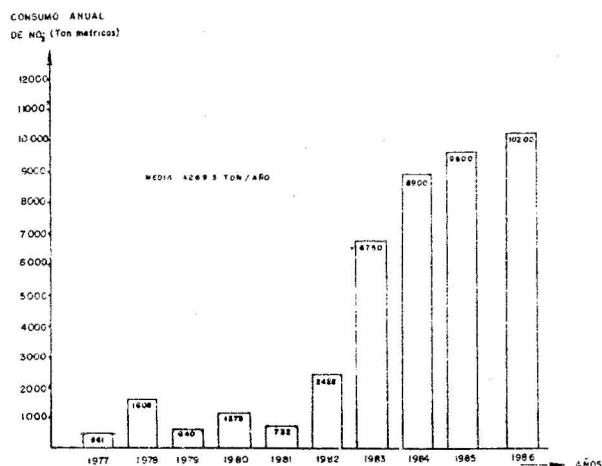


Como se muestra en la figura No. 2, a partir de la fecha en que ocurrió el accidente, se produjo un incremento en el contenido en nitratos de las aguas del pozo 3, abasto a la casa de Mirta Rodríguez, el cual pasó en pocos días de 92 mg/L a algo más de 150 mg/L, y a los 75 días, alcanzó los 363 mg/L (a razón de 4,14 mg/L de NO₃/d). Un muestreo realizado 54 días después arrojó un contenido de 474 mg/L (a razón de 2,05 mg/L de NO₃/d); a los 240 días después de esta última fecha, ya alcanzaba los 529 mg/L (0,23 mg/L de NO₃/d); y a los 38 días de este último muestreo, se llegaba ya a los 687 mg/L (4,16 mg/L de NO₃/d). Como valor promedio, para todo el periodo desde el accidente hasta el 2-2-88, se ha producido un incremento en el contenido en nitratos de las aguas del suelo de 1,56 mg/L por día. Como la «fuente de contaminación» aún persiste y se encuentra en «activo», es de esperar que el «enclave de contaminación» creado a partir de dicha «fuente» o «foco» se extienda aún más, incrementándose en el pozo monitoreado (punto 3) el contenido en nitratos según la última tendencia (4,16 mg/L.d) o la tendencia media (1,56 mg/L.d) a lo que contribuirá seguramente el inicio del periodo lluvioso (mayo de 1988). En la figura se muestra la forma del «enclave de contaminación» según los datos de 6 puntos muestreados el 24.12.87.

Se continúa la observación sistemática del «foco» y del punto de monitoreo, con el objeto de estudiar el comportamiento del suelo como medio de transporte del contaminante y a la vez como depurador del mismo, y se mantendrán estas observaciones aún después de eliminado físicamente este «foco».

CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS CARSICAS PROPIAMENTE DICHAS. CASO DE ESTUDIO: CUENCA SUR DE LA PROVINCIA DE MATANZAS

En el área bajo estudio, Empresa Citrícola «Victoria de Girón», se han incrementado anualmente las cantidades de abonos nitrogenados, siendo dichos ascensos bastante notables a pesar de que el área de cultivo aumentó de 13 000 ha en 1976 a 40 000 ha en 1986 (figura No. 3).



3. Evolución del consumo de fertilizantes nitrogenados en el plan citrícola «Victoria de Girón»

Apliquemos la fórmula (1) para esta área con la información real siguiente:

Concentración de nitrato (media) = 400 kg/ha = 90,33 kg N/ha

Coefficiente de infiltración = 0,35

Lluvia anual promedio = 1 128 mm

$f = 0,5$ (dadas las características del suelo de la zona del cítrico).

La infiltración eficaz resultará entonces,

$$I_{cf} = 0,35 \cdot 1\,128 = 394,8 \text{ mm}$$

Pasa al agua subterránea, como nitrógeno total:

$$C = 0,5 \frac{(90,33) \cdot 10^3 \text{ g}}{(0,3948) \cdot 10^4 \text{ m}^3} = 11,44 \text{ gN/m}^3 = 11,44 \text{ mgN/L}$$

o como nitratos:

$$C = 50,65 \text{ mg NO}_3/\text{L}$$

El volumen total infiltrado por hectáreas por año, será igual a:

$$V_{t \text{ inf}} = (0.3948 \text{ m/año}) 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} = 3948 \text{ m}^3/\text{ha. año}$$

Como el área total ocupada por el cítrico en 1986 fue $A_t = 40\,000 \text{ ha}$, entonces el volumen infiltrado de agua, $V_{t \text{ inf}}$, fue de: $V_{t \text{ inf}} = A_t (\text{ha}) \cdot V_{t \text{ inf}} (\text{m}^3/\text{ha año}) \approx 158 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

La cantidad total de nitrato infiltrado, considerando a $C = 50.65 \text{ g/m}^3$ para 1986, fue de:

$$CT \text{ 1986} = 50.65 \text{ g/m}^3 \cdot 158 (10^6) \text{ m}^3/\text{año} \approx 8 \cdot 10^6 \text{ kg/año 1986}$$

Además, para las 40 000 ha se utilizaron 400 kg de NO_3/ha (valor medio), por lo que en total se utilizaron:

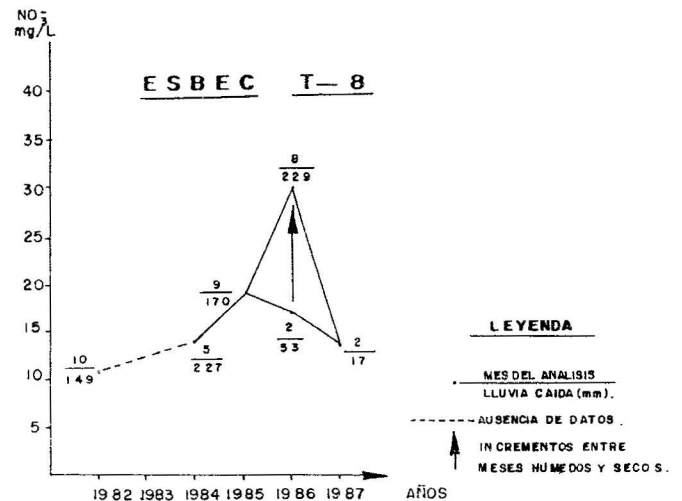
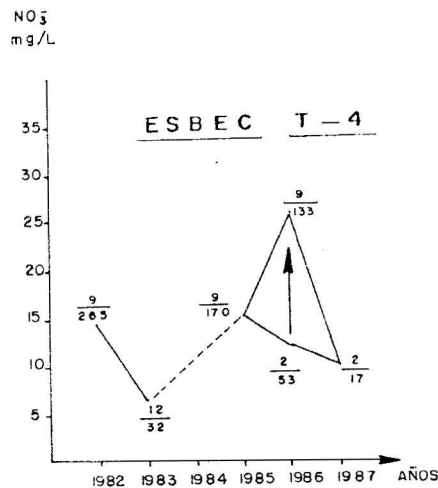
$$AU \text{ 1986} = 40\,000 \text{ ha} \cdot 400 \text{ kg/ha} = 16 \cdot 10^6 \text{ kg de } \text{NO}_3^-$$

Pasaron al agua (hipotéticamente) durante el año 1986,

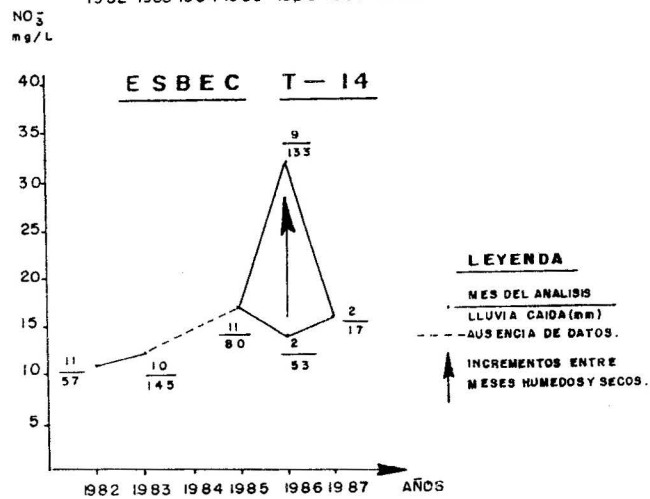
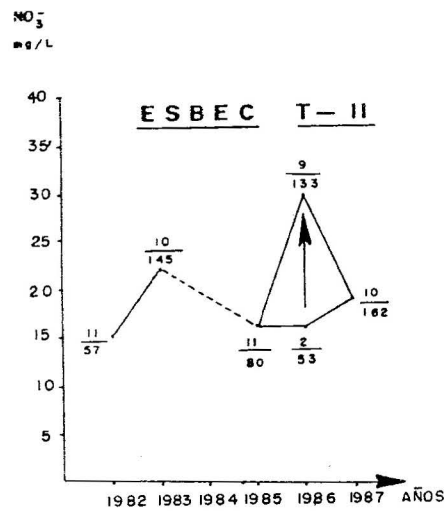
$$\frac{CT \text{ 1986}}{AU \text{ 1986}} = \frac{8 (10^6)}{16 (10^6)} \cdot 100 = 50\% \text{ del } \text{NO}_3 \text{ esparcido como}$$

abono, lógicamente coincidente con el comportamiento de los acuíferos cársticos, tal y como se expuso anteriormente, que poseen pobre cobertura o carecen de ella.

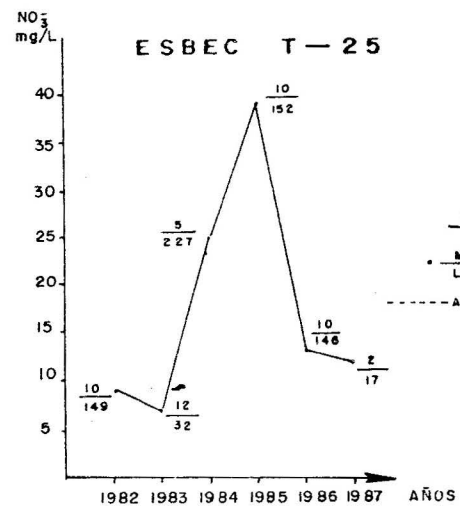
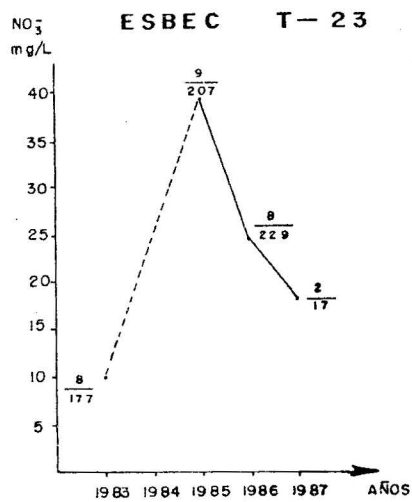
Para el periodo de 1985 a 1986, el incremento en nitratos en las aguas subterráneas de varios pozos de abasto de la zona de Torriente fue aproximadamente de 15 mg/L como valor promedio (figuras 4, 5, 6, y 7). Comparado este valor con el obtenido, 50.65 mg/L, representa un 30% de este último. O sea, que por los efectos de dilución en la masa de agua subterránea y por otros factores tales como la forma y régimen de extracción, y del tipo de riego (aspersión), resulta inferior al potencialmente infiltrable.



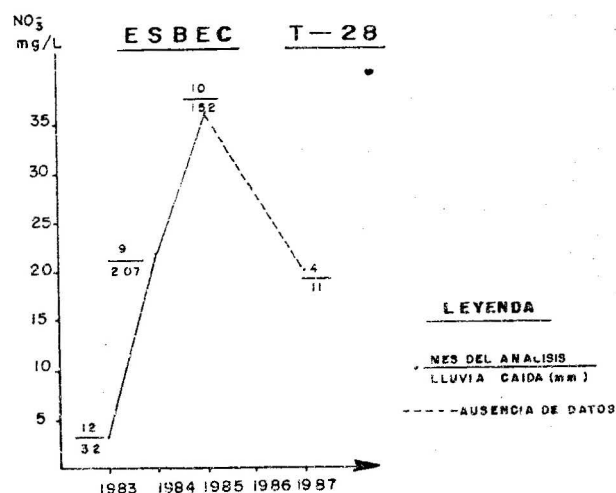
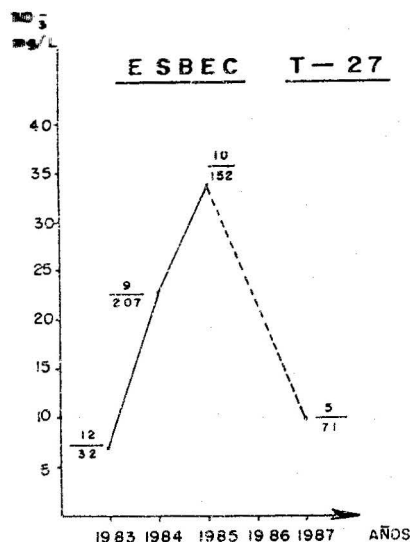
4. ESBEC T-4



5. ESBEC T-11



6. ESBEC T-23



7. ESBEC T-27

Si el volumen total infiltrado fue de $158 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, resulta que entonces aparece como infiltrado:

$$158 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año} \cdot 15 \text{ g/m}^3 = 2370 \cdot 10^6 \text{ g/año} \approx 2,37 \cdot 10^6 \text{ kg NO}_3 \text{ año}$$

En dicho período se utilizaron $10,2 \cdot 10^6 \text{ kg}$ de NO_3^- ; considerando la infiltración real efectiva de $2,37 \cdot 10^6 \text{ kg/año}$, ésta representa un 23 % de lo regado. El resto fue consumido por las plantas, retenido por el suelo o se encuentra en esos momentos recirculando junto con la propia agua del riego, como explicaremos posteriormente.

Según experiencias realizadas en las aguas de escurrimiento de zonas regadas por abonos nitrogenados, Robinson (5) plantea, que la cantidad de nitratos encontrada puede variar no solamente con la época del año, sino también de acuerdo con la interacción de factores tales como la temperatura, el desarrollo de la cosecha, las labores del suelo y la infiltración. Si la temperatura del suelo no es muy alta las plantas pueden tomar los nitratos tan pronto estos se forman, pero si ocurre una lluvia fuerte antes de que los nitratos hayan sido extraídos por aquellas o inmediatamente después de labrar la tierra (con temperaturas más altas), se producirá un lixiviado considerable de los primeros.

En la zona de Torriente, donde hemos analizado las aguas de varios abastos a escuelas secundarias (figuras 4 a la 7), los suelos (ferralíticos rojos) son muy permeables, poco profundos (de 20 a 50 cm) y yacen sobre roca caliza cavernosa, que como sabemos se corresponden con una zona de características propias del carso, muy favorables para la infiltración y poca retención de la humedad, factores que influyen en el régimen del ciclo vegetativo del cítrico (6).

Tomando en consideración lo señalado por Robinson (*opus cit.*) y las características de los suelos en la zona, pueden explicarse las variaciones en los contenidos en nitratos en diferentes años, con muestreos realizados en meses de pocas y abundantes lluvias, respectivamente.

Lo expresado anteriormente podemos observarlo en los gráficos 3 al 6, en el período correspondiente a los años 1982 ó 1983 a 1987, y la figura No. 8,

donde aparecen las lluvias anuales caídas en el mismo período de tiempo en la zona de Torriente.

Lamentablemente, los muestreos no se realizaron en las fechas adecuadas por problemas de índole técnica, por lo que las interpretaciones de los resultados se ven algo afectadas y requieren de la intuición y experiencia de los investigadores.

De la observación de estos gráficos se desprenden las consideraciones siguientes:

Los ascensos o «picos» en el contenido en nitratos de las aguas subterráneas se producen en el período «húmedo» de los años más lluviosos, excepto donde el muestreo se desplazó en tiempo, es decir, se realizó en el período «seco» de un año más lluvioso como es el caso de los abastos T-4 y T-25 en diciembre del año 1983 y el T-11 en noviembre de 1985.

Así, por el contrario, en los períodos lluviosos de años de menor lluvia anual aparecen los «picos» de más alto contenido en nitratos en los meses de setiembre y octubre, para los abastos T-25, T-27, T-23 y T-28 (figuras 6 y 7), donde resulta más evidente que en los demás.

La influencia de la cantidad de lluvia caída puede demostrarse mejor en el caso de los abastos T-11, T-14, T-4 y T-8 en los que en el mismo año 1986, se realizaron dos muestreos, uno en un mes de lluvia escasa (febrero, con 53 mm) y otro, en meses más lluviosos (setiembre, con 133 mm; octubre, con 152 mm; agosto, con 229 mm) en los que el incremento del contenido en nitratos para estos es como promedio de 15 mg/L entre ambos muestreos para los últimos con relación al primero.

Las plantaciones del cítrico en producción son fertilizadas en el último cuatrimestre de cada año, de ahí que sea en los meses de setiembre y octubre donde se registren los valores máximos de nitratos en las aguas subterráneas. Es de esperar que en los muestreos realizados en otros meses, en los que puede también haber poca lluvia, se produzcan infiltraciones menores de fertilizantes.

Las disminuciones relativamente rápidas de nitratos pueden deberse a las extracciones bastante grandes que se realizan durante el riego de las plantaciones ($0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{km}^2$) que permiten la extracción con el agua, de parte del infiltrado. El agua es esparcida al aire mediante aspersores continuando posteriormente el mismo ciclo que la procedente de las lluvias, aunque lógicamente la infiltración puede resultar escasa o prácticamente ninguna. Es decir, la existencia de una red de estaciones de bombeo de grandes caudales de extracción (100 a 200 L/s y aún superiores) favorecen la extracción de parte de los fertilizantes nitrogenados arrastrados por las aguas que logran infiltrarse.

Para el área estudiada y en el mismo año antes considerado:

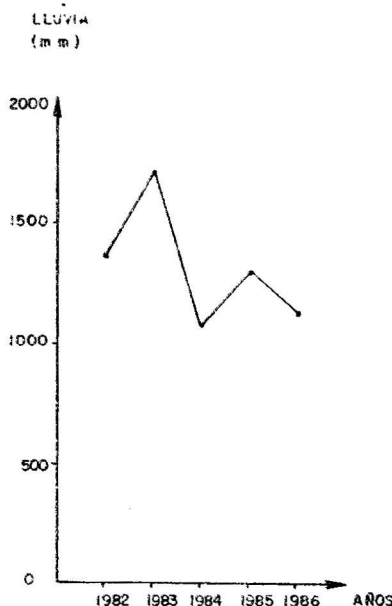
La explotación para el período 1985-1986 fue de $87,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, para el área total del cítrico en este año, 40 000 ha, lo que representa una lámina de agua de:

$$E = \frac{87,7 (10^6) \text{ m}^3}{4 (10^8) \text{ m}^2} \approx 220 \text{ mm (durante todo el año)}$$

Para el período de riego, o sea, unos 2/3 del año aproximadamente, este valor se eleva a 330 mm de agua. Aun considerando una infiltración de 0,35 (muy elevada realmente), el valor del agua infiltrada apenas alcanza los 115 mm, por lo que la lixiviación de los nitratos remanentes en el suelo, es pequeña. Los volúmenes de agua que se extraen, por otra parte, son muy altos, y los incrementos de los nitratos en las aguas subterráneas pasan inadvertidos.

En época de lluvias ocurre lo inverso, pues no se riega, por lo que las extracciones no son grandes, y el remanente de nitratos que queda en el suelo pasa netamente al acuífero y pueden observarse incrementos conside-

8. Lluvia caída, Período 82-86
Zona Torriente



rables de nitratos («picos» en los gráficos antes mencionados) provocados por lluvias fuertes.

LOS NITRATOS EN LAS AGUAS DE CONSUMO Y SUS AFECTACIONES EN LA SALUD DEL HOMBRE.

En individuos sanos normales los nitratos y nitritos se absorben rápidamente en el sistema gastrointestinal. El nitrito absorbido reacciona con la hemoglobina para formar metahemoglobina que, en el adulto, se convierte rápidamente en oxihemoglobina por la acción de sistemas reductores como la NADH metahemoglobina reductasa (1).

Los lactantes son el grupo más vulnerable a la exposición a los nitratos, pues los riesgos de salud no sólo están vinculados con su concentración en el agua potable y los alimentos, sino también con la presencia o ausencia de condiciones de su reducción a nitritos.

Entre dichas condiciones desfavorables se encuentran las siguientes: la menor acidez de su estómago que permite el desarrollo de ciertos microbios que contienen enzimas capaces de reducir nitratos a nitritos; los eritrocitos pueden ser más susceptibles a la conversión a metahemoglobina; el sistema enzimático que puede reducir esta última a hemoglobina es deficiente, y por último, la ingesta de líquidos es más elevada que la del adulto en relación con el peso corporal.

El aumento de la concentración de metahemoglobina por encima de las cifras normales, según Cecil (7), puede asociarse a trastornos hereditarios o a la exposición de fármacos o sustancias químicas, tal es el caso de metahemoglobinemia tóxica o adquirida, siendo los nitratos uno de dichos elementos químicos.

Según Cecil (*opus cit.*) se han notificado más de 700 casos de metahemoglobinemia tóxica en lactantes a los cuales se dan dietas preparadas con agua que contiene altas concentraciones de nitratos; la mortalidad infantil ha sido de 10 por 100.

Los casos de enfermedad y fallecimiento por metahemoglobinemia reportados, en su mayoría han estado asociados con agua que contenía más de 90 mg/L, si bien algunos lactantes consumían agua que contenía menos de 50 mg/L (1).

Por estudios recientes, se ha detectado que los nitratos pueden causar vasodilatación, lo que agrava los efectos de la metahemoglobinemia.

Los signos clínicos de intoxicación por nitrato, atribuibles a hipoxia, aparecen cuando los valores de metahemoglobina pasan del 20 %, aproximadamente; aparecen síntomas de fatiga, cefalea, taquicardia, lipotimia, náuseas, anorexia y vómito. La concentración mortal es mayor de 70 por 100 (7).

CONCLUSION

- Existe una relación muy directa entre la lluvia caída y la cuantía en la infiltración de nitratos para un mismo tipo de suelo, siendo *mayor* la infiltración cuanto *mayor* sea la lluvia y la temperatura ambiental.
- El sistema de riego empleado (aspersión) así como la intensidad de la explotación inhiben el incremento teórico potencial de nitratos en el agua subterránea en una zona como la estudiada, de alta capacidad de infiltración, por lo que puede inferirse de ello que:

en época de lluvia, como no se riega, no hay grandes extracciones, de ahí que se presenten «picos» en el contenido en nitratos;

en el periodo de seca, se riega, las explotaciones son grandes, y se extrae juntamente parte del nitrato con el agua bombeada. De ahí que no se ocasionen incrementos notables (a veces ocurren hasta reducciones), principalmente en periodos de lluvia anormal.

- No se han detectado valores de nitratos que rebasen los límites considerados como *riesgosos* (45 mg/L), por lo que no está presente aún el peligro de *metahemoglobinemia*, en los lactantes, aunque si el de un incremento en el contenido en nitratos en el periodo de años analizados, que en muchos puntos los hizo aproximarse a los límites admisibles.
- Anualmente se incrementan las cantidades de abono a aplicar, al incrementarse las áreas de riego.

Por razones técnicas se requiere exceder la cantidad de fertilizantes para obtener los resultados deseados, por lo que es de esperar mayores incrementos de nitratos en las zonas más al Sur del territorio, más, si se emplean los abonos del tipo orgánico (urea), compuestos muy móviles cuyos productos degradados son los que provocan problemas de contaminación.

- Este trabajo se encuentra en su primera fase de ejecución, por lo que lo concluido hasta el momento es de carácter preliminar.

BIBLIOGRAFIA

1. Criterios de salud ambiental No. 5. Nitratos, nitritos y compuestos N-nitrosos. Pub. Científica No. 394, OPS, Washington, EUA.
2. Martín, Perras J.: Aguas subterráneas. Contaminación Urbana, Industrial y Agrícola. CEAMSE. Buenos Aires, 1982.
3. Huisman, L. Jr: Paper and Proceedings of Water Research. Conference held at University of Reading, Pershore, England, from 6-8, sep. 1976.
4. Velasco, Calvin. J.: Aguas subterráneas. CEAMSE. Buenos Aires, 1982.
5. Robinson, W. G.: M.A. Sc. D. Estudio Científico del Suelo. Aguilar, S.A. de Ediciones Madrid, 1956.
6. Simeón, R. Florencio.: Informe agrológico de los estudios del suelo. Lote Sur Torriente.. Empresa Hidro-económica de La Habana. 1979.
7. Beson, B. Paul Dr.: Dr. Mc. Dermott Walsh. Tratado de Medicina interna de Cecil. Tomo II. Vol. I, 15 Edición.