

Efecto de la aplicación agrícola de la excreta porcina en la calidad del agua subterránea

Julia Pacheco¹, Armando Cabrera¹, Birgit Steinich², Javier Frías³, Víctor Coronado³, Juan Vázquez³

RESUMEN

La utilización de desechos orgánicos con fines de fertilización, en especial, el estiércol de algunos animales, propician la lixiviación de nitrógeno y patógenos que alteran la calidad del agua subterránea. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos en la calidad del agua, de la aplicación del estiércol de porcinos en el cultivo de la papaya. Este estudio se realizó en el Estado de Yucatán y se efectuaron 8 muestreos de agua subterránea en la región de estudio. Se determinaron la concentración iónica, la densidad de coliformes y la identificación de enterobacterias. Los resultados mostraron incrementos en el contenido de Nitrógeno de nitratos, en la densidad de coliformes y en la riqueza específica de enterobacterias. Se propone un manejo integral de los desechos orgánicos de granjas porcinas, que incluya la observación rutinaria del contenido de Nitrógeno en las excretas, para calcular la necesidad de la planta y minimizar el riesgo de contaminación al agua subterránea.

Palabras clave: agua subterránea, desechos orgánicos, nitratos, coliformes fecales

INTRODUCCIÓN

Entre las fuentes de nitratos que causan contaminación al agua subterránea, se mencionan el uso indiscriminado de fertilizantes y la disposición inadecuada de las excretas de animales. Sin embargo, algunos de los factores que controlan la severidad de esta contaminación son: la dilución por la recarga local, el flujo a través del acuífero regional, la denitrificación en la zona insaturada, la naturaleza del terreno y el régimen pluviométrico (Lewis et al., 1980).

En el Estado de Yucatán, el decaimiento de la industria henequenera dio como resultado la diversificación de las actividades económicas en el medio rural, implantándose entre otros, un programa de desarrollo porcícola que cubre gran parte del estado, principalmente la zona ex-henequenera

situada relativamente cerca de la Ciudad de Mérida. Sin embargo, en áreas con actividad agropecuaria, el riego de zonas extensas de tierra de cultivo fertilizadas con desechos de animales contamina las aguas freáticas, especialmente cuando el nivel de nitrógeno y de fósforo es mayor del que necesitan los cultivos (Pacheco et al., 1997).

Los residuos generados en las unidades de producción porcícola, incluyen las aguas residuales utilizadas para limpiar los establos, los residuos de la alimentación, así como las excretas animales (heces y orina). La sustitución de los sistemas de producción animal integrados con las actividades agrícolas y acuícolas por la cría especializada de animales en régimen de estabulación y sin conexión con los sistemas de cultivo y el hecho de que el número de animales exceda la capacidad de carga de la tierra, ha producido algunas repercusiones perjudiciales sobre

¹ Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería de la UADY. pavila@tunku.uady.mx

² Profesor Investigador de la Unidad de Ciencias de la Tierra, UNAM

³ Técnico Académico de la Facultad de Ingeniería de la UADY

el medio ambiente con consecuencias directas para la salud humana y animal.

Por lo que respecta al estiércol, se concede especial atención a su aplicación a la tierra, porque esta práctica, la más antigua, es todavía la más satisfactoria. Si se aplica adecuadamente, el estiércol aumenta la fertilidad del suelo, mejora su estructura y no causa problemas de contaminación. En cambio, el “vertido” incontrolado del estiércol en la tierra conlleva a un riesgo ambiental importante para la calidad del aire, del suelo y de las aguas superficial y subterránea. La utilización del estiércol sin tratar en la tierra, puede transmitir bacterias, virus, amebas, helmintos y parásitos. Normalmente, se subestiman los peligros que presentan las bacterias y los virus patógenos porque muchas veces los animales transportan patógenos sin mostrar síntoma alguno. Así, en Taiwán se han encontrado bacterias coliformes y estreptococos fecales en todos los residuos de porcinos, con concentraciones bacterianas de más de un millón por 100 ml y, en ocasiones, de más de mil millones por 100 ml (Conway y Pretty, 1991; citado por Scialabba, 1994).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad del agua que subyace un área con actividad agropecuaria en el que se utilizó la excreta de cerdo sin algún tratamiento, como fertilizante para el cultivo de pastizales y algunos productos hortícolas, mediante la determinación de las concentraciones de nitratos, cloruros, la densidad de bacterias coliformes fecales y la identificación de los principales géneros de la familia de las enterobacterias.

Descripción del área de estudio.

El área de estudio se encuentra en el Municipio de Conkal que tiene una extensión de 57.48 km² ubicado al noreste de la Ciudad de Mérida, aproximadamente a 14 Km, (Figura 1). Específicamente, el proyecto se desarrolló en el campo experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2; en este campo, se tienen una unidad porcina, un área hortícola y un área reservada a la cría de ganado bovino. En el área hortícola de una extensión aproximada de cuatro hectáreas, se ubica un campo de nueve pozos someros, con una distancia de 100 metros entre cada pozo (Figura 1).

METODOLOGÍA

Las actividades relevantes para la contaminación local del agua subterránea generadas

en el campo experimental estudiado en este trabajo son: la extracción del agua subterránea en 9 pozos someros distribuidos en el área de la granja y el uso de esta agua para irrigación y el uso de la excreta porcina como fertilizante. Estas actividades pueden incrementar la contaminación al agua subterránea debido a la infiltración natural y al arrastre de contaminantes desde la excreta depositada en la superficie del terreno. La calidad del agua que subyace la región de estudio, fue monitoreada colectando el agua de 12 pozos someros. La profundidad al nivel freático varió de 5.0 a 6.5 metros. Los pozos tienen un diámetro aproximado de 1 metro y se terminan entre 0.5 y 1.0 metro por debajo del nivel freático. Los pozos del 1 al 9, se ubican en la superficie en la que se usó la excreta; el 10, se localiza dentro de la granja pero fuera del área de aplicación de la excreta; el 11, es un pozo público usado para abastecimiento y el 12, se localiza en una pequeña granja porcícola ubicada en un terreno aledaño al campo experimental. Se realizaron 11 muestreos durante el período de enero de 1997 a junio de 1999, con la finalidad de estudiar el impacto de la utilización de la excreta en la calidad del agua subterránea, a corto y mediano plazo. A las muestras de agua colectadas, se les realizó un análisis iónico y se determinó la densidad de bacterias coliformes fecales, de acuerdo a las técnicas descritas en el Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Comportamiento de la concentración de nitratos contra la concentración de los otros aniones.

La relación entre el ion nitrato y la suma de los otros aniones (sulfato y cloruro), en áreas rurales en donde el uso de la tierra es diferente a la estudiada en este trabajo, muestra una buena correlación según lo indicado por Heaton (1985). En el área de estudio, la correlación del ion nitrato crece en desproporción al contenido de los otros iones, de manera variable (Fig. 2). Esta relación puede deberse al origen orgánico del nitrógeno en comparación con el origen inorgánico en áreas con diferente uso de la tierra. La falta de correlación entre estos parámetros, puede indicar el impacto en la calidad del agua causado por el uso de fertilizantes orgánicos.

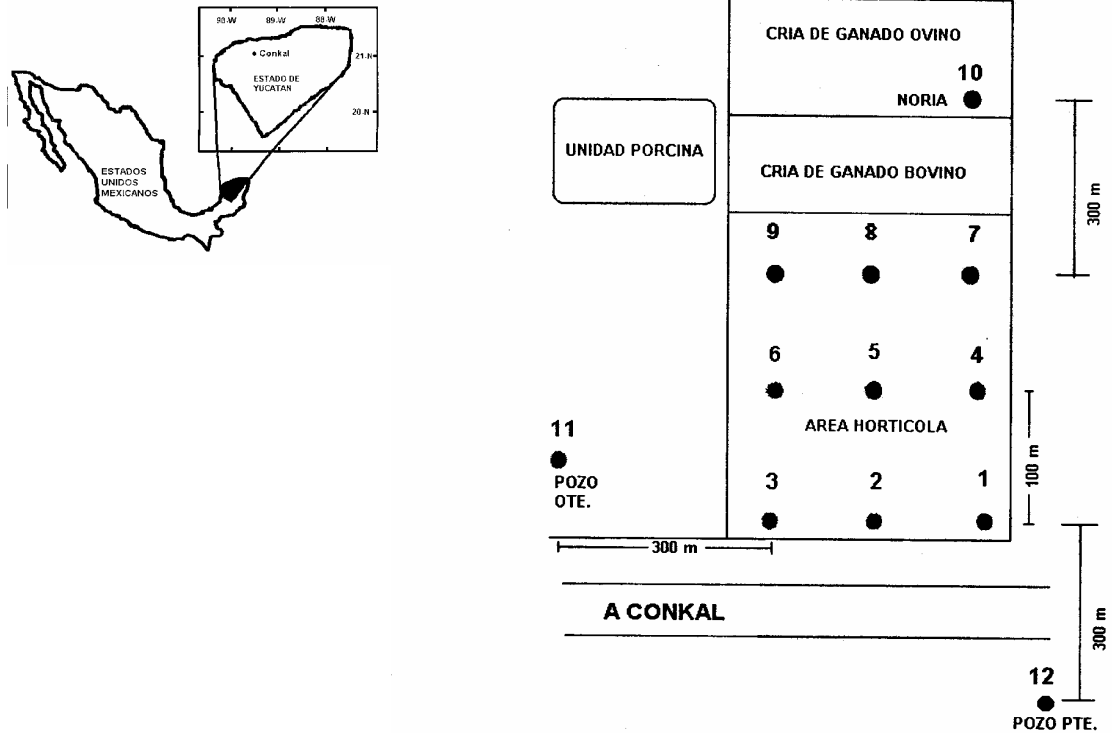


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación de los pozos de muestreo

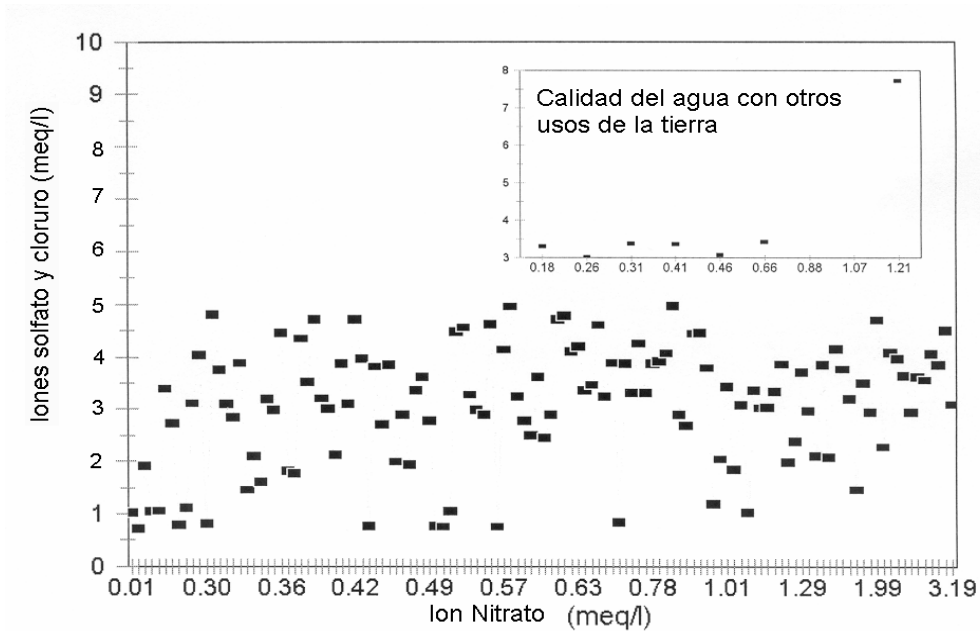


Figura 2. Comparación de las concentraciones de nitratos y la suma de los otros aniones (sulfatos y cloruros) Calidad del agua subterránea de la región de estudio, sin la aplicación de la excreta.

Se tomaron muestras de agua de 3 pozos de referencia localizados fuera de la granja experimental (pozos 10, 11 y 12 en la Fig. 2), con la finalidad de determinar la concentración existente en el agua subterránea y de esta manera, aislar la contribución en la concentración de nitratos generada por la aplicación de la excreta de cerdo como fertilizante.

La concentración de nitratos en el agua subterránea, tuvo valores promedio de 52.61 mg/l para el período comprendido de enero de 1997 hasta julio de 1999, con valores que variaron de 18.32 hasta 179.72 mg/l (Fig. 3). En los muestreos de enero, mayo y septiembre de 1997, las concentraciones de nitratos variaron entre 26.00 y 57.37 y en febrero de 1998, las concentraciones se incrementaron hasta valores por arriba de 100 mg/l, excepto para el pozo 11. Se determinó otro valor alto de 150.00 mg/l en el pozo 10 situado al norte del área de estudio; sin embargo, los contenidos de nitratos en los pozos 11 y 12 estuvieron por debajo de 50 mg/l para el mismo período (Fig. 3). Los valores de nitratos se elevan de nuevo por arriba de los 50.0 mg/l en los pozos 10 y (Figs. 4 y 5).

11 en noviembre y diciembre del mismo año y disminuyen durante febrero, abril y julio de 1999 (Figura 3). Pudo observarse que las concentraciones de nitratos en el agua que subyace los alrededores del campo experimental estuvieron cercanas a los 45 mg/l, que es el valor establecido por la Norma Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), mostrando valores superiores en varios períodos.

Distribución de los nitratos en el agua subterránea.

En sistemas cársticos en los que el tipo de flujo predominante es por conductos, los pozos cercanos pueden no estar conectados hidráulicamente pero pueden formar parte de un sistema de conductos independientes (Steinich y Marín, 1997).

En el área de estudio, el agua colectada en 8 de los 9 pozos, mostraron variaciones parecidas en el contenido de nitratos, las cuales fueron similares al menos a uno de los tres pozos de observación ubicados fuera de la granja

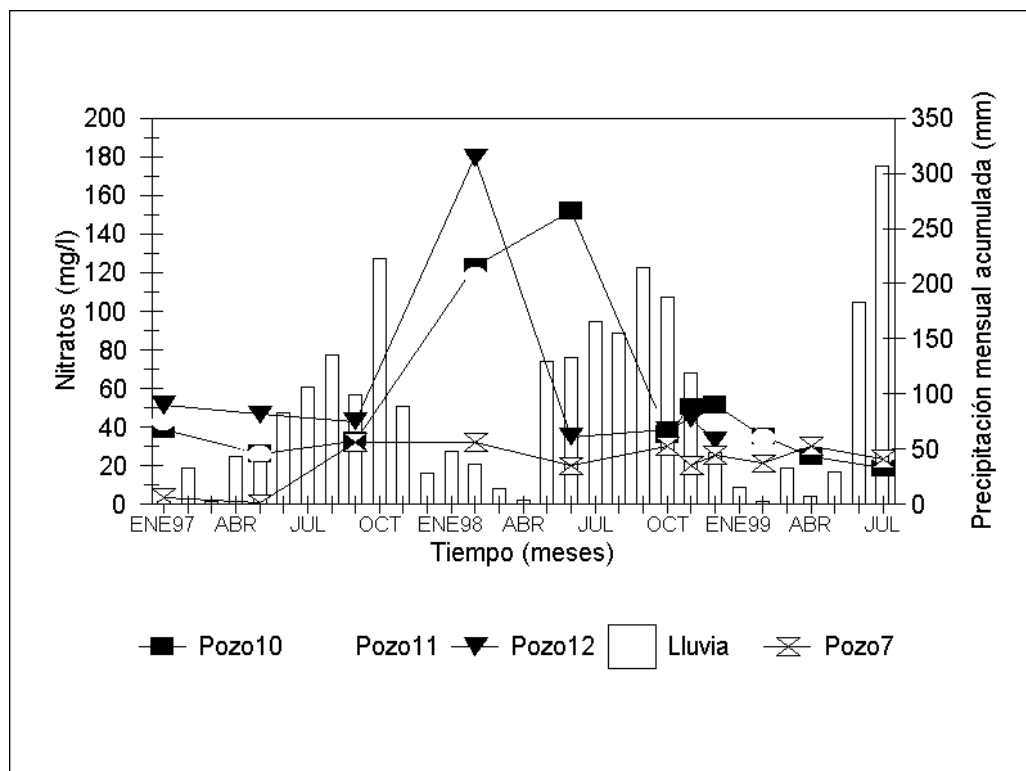


Figura 3. Concentración de fondo en el agua que subyace la región de estudio

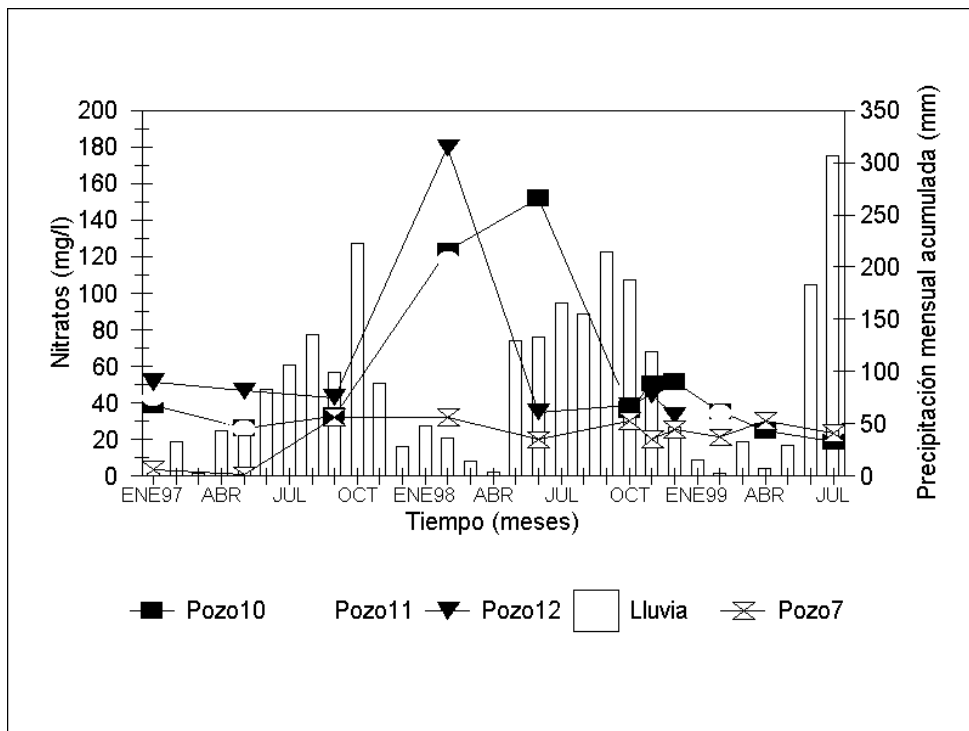


Figura 4. Concentraciones de nitratos en pozos seleccionados en el campo experimental

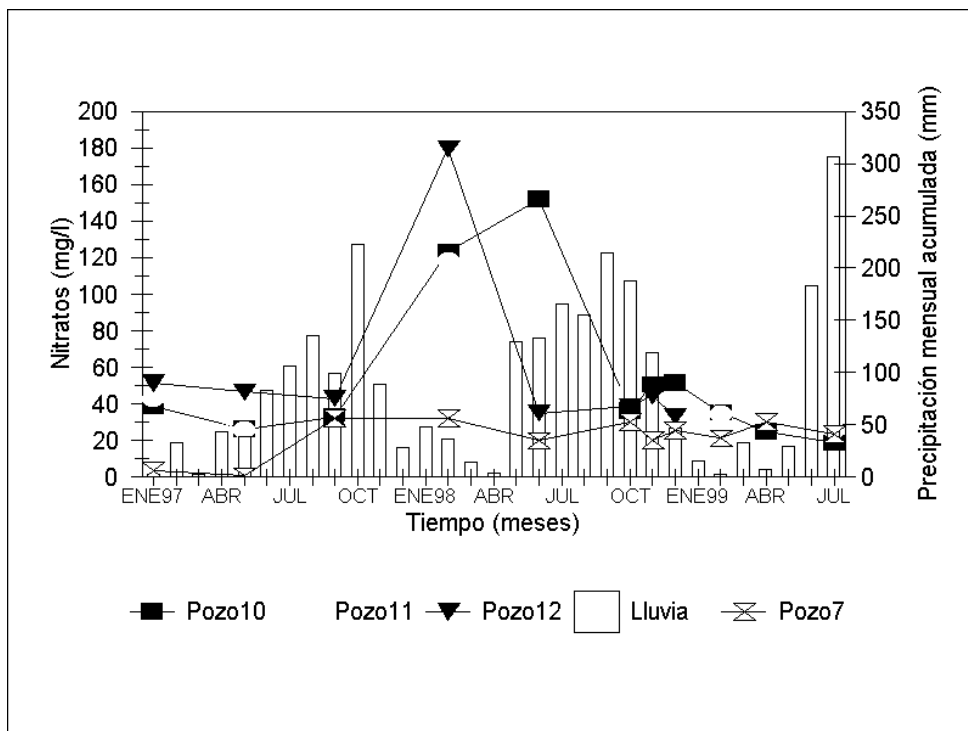


Figura 5. Concentraciones de nitratos en pozos seleccionados en el campo experimental

Esta observación implicó que hay buena conexión hidráulica entre la porción del acuífero del campo experimental y sus alrededores. De esta manera, puede asumirse que el contenido de nitratos en el agua que subyace el campo experimental en donde se aplicó la excreta de cerdo como fertilizante, es la suma de la concentración de fondo (regional) más la generada por la lixiviación y arrastre de la materia orgánica.

Las Figuras 4 y 5, muestran que los pozos 1, 6, 8 y 9 tuvieron variaciones similares de las concentraciones de nitratos respecto al tiempo, que las encontradas en el pozo 11. Hubo un valor excepcionalmente alto para la concentración de nitratos en los pozos 2, 4 y 5, en octubre de 1998, el cual no fue observado en los otros pozos. Mientras que el agua de los pozos 2 y 5 mostraron nuevamente altas concentraciones de nitratos en noviembre y diciembre del mismo año, la muestra de agua del pozo 4 no siguió esta tendencia. Una cantidad de excreta porcina fue depositada temporalmente en áreas cercanas a los pozos 2 y 5, lo que hace suponer que los comportamientos anómalos en esos pozos fueron debidos a un evento de lixiviación y arrastre adicional.

El contenido de nitratos en las muestras de agua del pozo 7, no mostró relación con alguno de los pozos de los alrededores o de la granja (Fig. 3). La contaminación de nitratos en este pozo es relativamente baja en todo el periodo, con valores entre 0 y 0.31 mg/l en mayo de 1997 y de 32.24 mg/l en febrero de 1998.

La Figura 3, muestra que ninguno de los eventos de alta contaminación por nitratos fue observada en los tres pozos fuera de la granja (pozos 10, 11 y 12), mientras que todos los pozos de la granja mostraron correlación al menos con uno de estos pozos.

La Figura 3, también muestra que el agua del pozo 7 tiene características similares a los pozos 4, 8 y 9 (Figs. 4 y 5); esto, podría mostrar la existencia de una conexión hidráulica entre este grupo de pozos. La mezcla con el agua a profundidades menores afectadas por la contaminación del nitrato superficial resulta en una dilución del agua cerca del pozo 7 y podría explicar la pérdida de correlación con los otros pozos.

El agua del pozo 8, mostró la más alta concentración de nitratos observada en todos los otros pozos, entre febrero y junio de 1998 pero con una intensidad menor. El efecto de dilución propuesto para el pozo 7, puede eventualmente influenciar el pozo 8 en un menor grado.

Las observaciones hechas respecto a las concentraciones de fondo de nitrato y las observadas en los pozos de la granja nos permiten aislar la parte de la contaminación que se origina de la aplicación de la excreta porcina.

Las Figuras 6 y 7, muestran la diferencia en el contenido de nitratos de los pozos 1, 6, 8 y 9 con respecto al pozo 10; y de los pozos 2, 3, 4 y 5 con respecto al pozo 11 en función del tiempo. La siembra de la papaya, tuvo lugar en junio de 1997 y la aplicación de la excreta 70 días mas tarde, en agosto de 1997. Excepto para los pozos 2 y 5, el agua de todos los demás pozos no mostró un incremento en las fechas de muestreo posteriores a la aplicación de la excreta con respecto a las correspondientes en los pozos fuera de la granja.

Los valores pico de nitratos en todos los pozos se observaron durante el periodo de septiembre a diciembre de 1998 con valores hasta de 88 mg/l por arriba de la concentración de fondo (Fig. 7). La disponibilidad de nitratos a través de la aplicación de la excreta en los pozos de la granja, decreció durante los meses siguientes y alcanzaron los valores de fondo en julio de 1998 (Figs. 6 y 7). El desfaseamiento de las concentraciones de nitratos en el agua subterránea con respecto a la aplicación de la excreta, probablemente refleja el periodo de mayor consumo de nitrógeno por parte de las plantas, lo que causa que no haya disponibilidad de nitratos para ser lixiviados o arrastrados hacia el nivel freático.

El incremento de la contaminación por nitratos en el agua subterránea en el periodo de septiembre a diciembre de 1998, parece ser consecuencia de la infiltración del exceso de fertilizante que no fue absorbido por las plantas. Es importante tener en mente que no hubo actividad agrícola durante el verano de 1998, y que el impacto observado debe ser relacionado al cultivo de la papaya durante el verano de 1997.

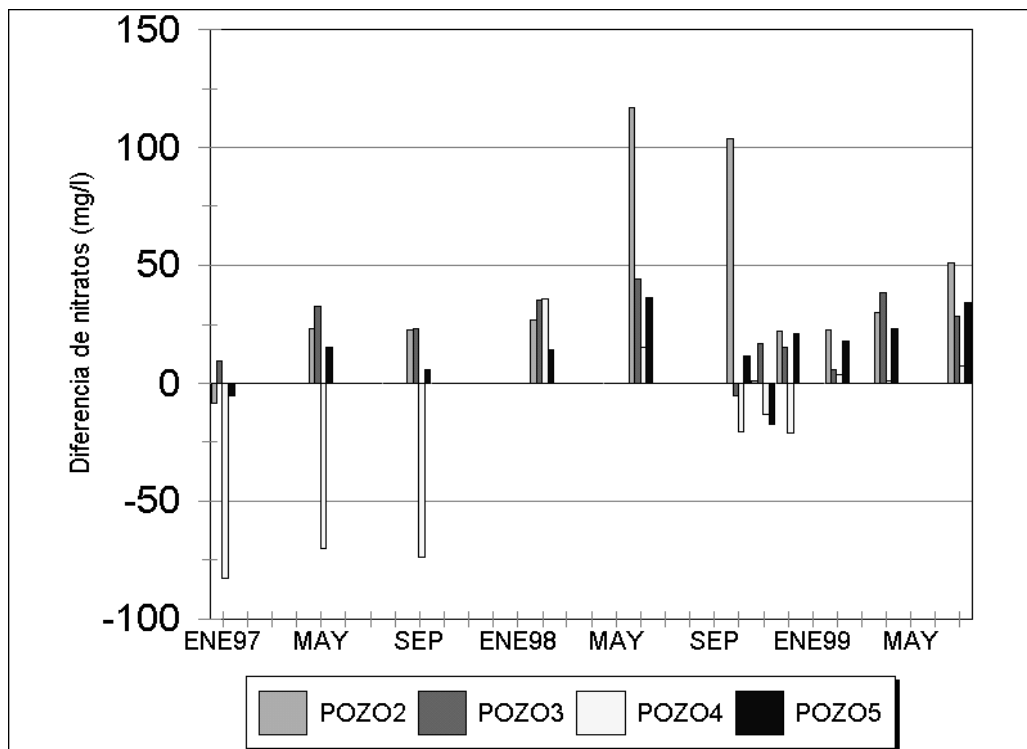


Figura 6. Incremento en la concentración de nitratos en el agua subterránea causada por la aplicación de la excreta

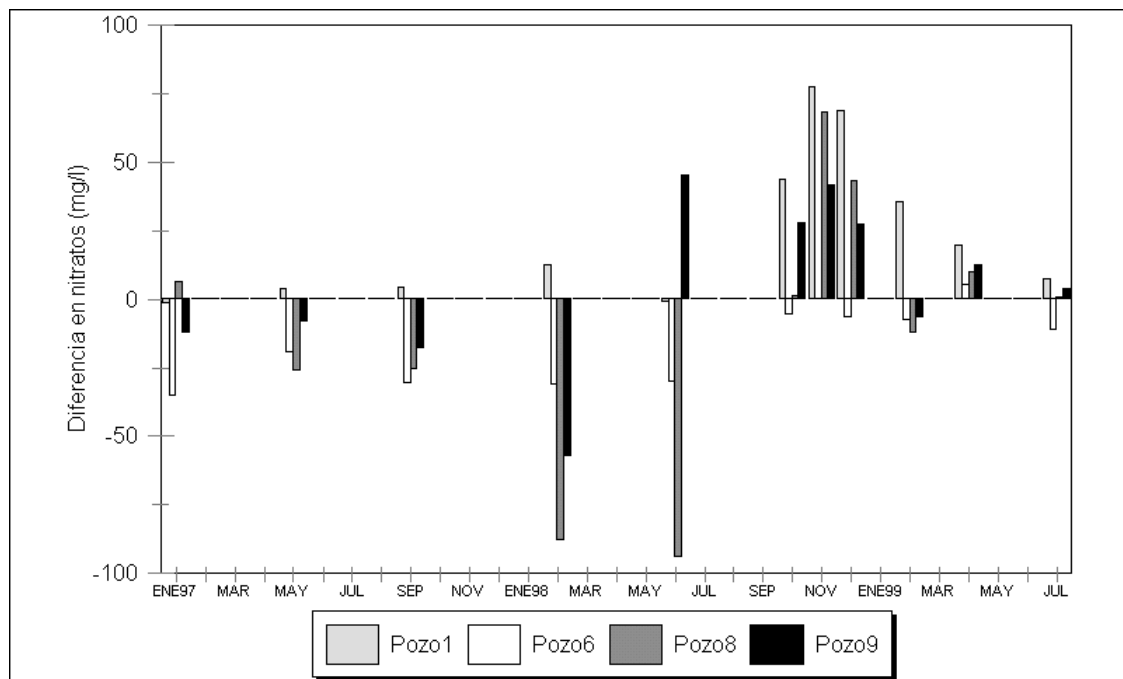


Figura 7. Incremento en la concentración de nitratos en el agua subterránea causada por la aplicación de la excreta

Densidad de bacterias coliformes e identificación de enterobacterias.

El uso de excreta porcina puede no implicar la contaminación inorgánica; sin embargo, implica con seguridad, la liberación de organismos patógenos como las bacterias coliformes fecales. El transporte de las bacterias en el agua subterránea es afectado por un número de factores ambientales además de las características hidrogeológicas del acuífero (Harvey, 1989).

La densidad de bacterias coliformes en el agua de los pozos dentro y fuera de la granja fue determinada en 11 ocasiones durante el periodo de enero del 97 a junio del 98.

Aún antes del ciclo del cultivo, los coliformes fueron identificados en las muestras de agua lo cual sugirió una contaminación bacteriológica de fondo en el agua que subyace del arrea estudiada. Los valores alcanzaron su mínimo en la mayoría de los pozos, en enero de 1997 y febrero de 1998, coincidiendo con la disminución de actividades agrícolas; ya que, la preparación de los cultivos en el

año se inició con la limpieza del campo durante marzo y abril y la aplicación de la excreta se dio a partir del mes de mayo hasta el mes de agosto.

Los incrementos en la densidad de bacterias coliformes en las muestras de agua, colectadas en junio de 1998 reflejan el transporte de bacterias a través del acuífero cárstico, presumiblemente debido a la porosidad secundaria del medio. La Figura 7, muestra que la densidad de coliformes en el agua subterránea se incrementó de junio a octubre, coincidiendo con la temporada de lluvias intensas.

No hubo una clara diferencia de las densidades de los organismos coliformes fecales entre los pozos dentro y fuera de la granja, lo que muestra que existe una contaminación bacteriológica a nivel freático asociada con una contaminación regional; de tal manera, que las aplicaciones de la excreta únicamente ocasionan un incremento en la densidad durante y después de los eventos de lluvia intensa. De estas observaciones, podemos concluir que no hay una diferenciación exacta de la densidad de bacterias con respecto a la lixiviación de bacterias provenientes de la aplicación de la excreta.

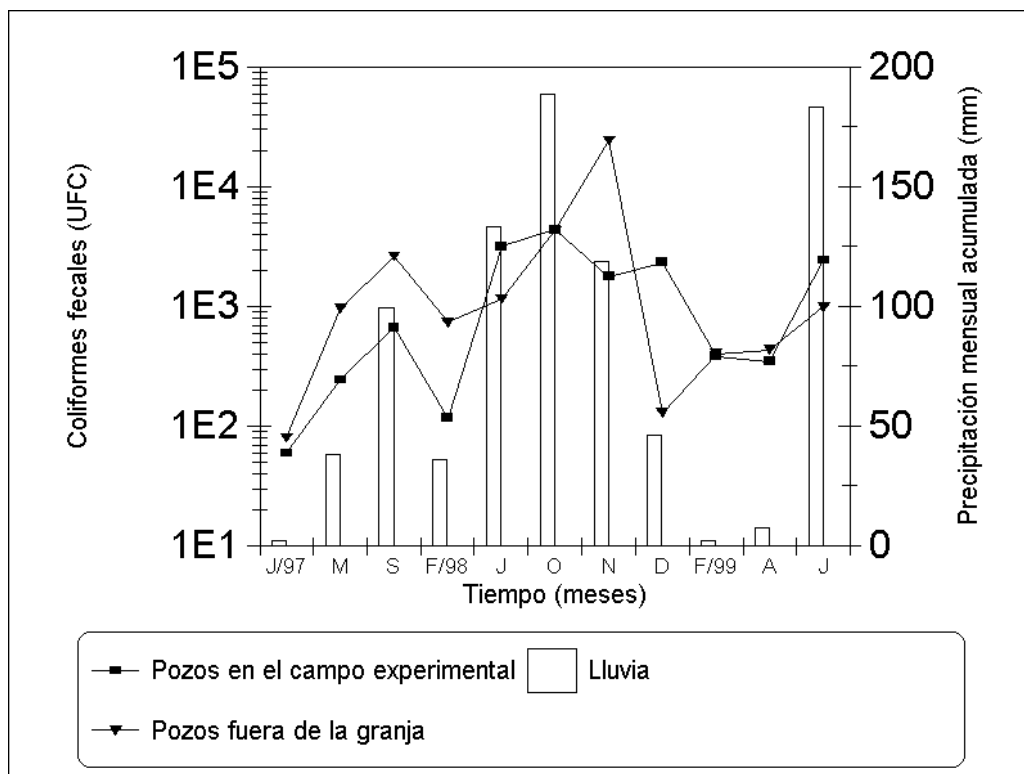


Figura 8. Densidad de Organismos Coliformes Fecales

Fueron aislados e identificados 12 géneros de la familia de enterobacterias. La lixiviación de las bacterias a nivel freático como consecuencia de la aplicación de la excreta, dio como resultado un enriquecimiento específico de las especies respecto a aquellas encontradas en los pozos fuera de la granja (Tabla 1).

Las especies más dominantes fueron la *Escherichia coli*, la *Enterobacter agglomerans* y la *Enterobacter Aerogenes* (Fig. 8). En consecuencia se puede asumir que la lixiviación de bacterias debida a la aplicación de la excreta puede tener efecto en la salud pública y animal, ya que pueden causar gastroenteritis, diarrea y otras enfermedades.

Tabla 1. Aislamiento e identificación de enterobacterias en la región de estudio

Familia	Especie	Pozos en la granja	Pozos fuera de la granja
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>	+	+
	<i>Enterbacter aerogenes</i>	+	+
	<i>Serratia marcescens</i>	+	+
	<i>Escherichia coli</i>	+	+
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	+	-
	<i>Citrobacter freundii</i>	+	-
	<i>Citrobacter diversus</i>	+	+
	<i>Salmonella rubideae</i>	+	-
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	+	+
	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	+	-
	<i>Edwarsiella tarda</i>	+	-
	<i>Enterobacter hafnie</i>	+	+

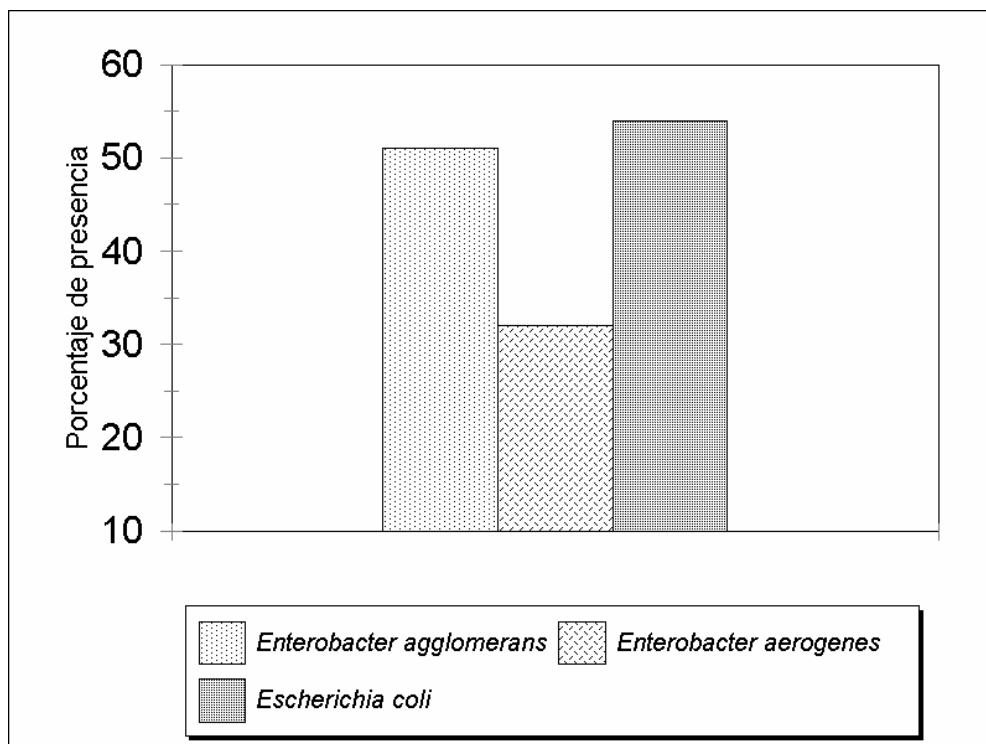


Figura 9. Especies de Enterobacterias más comunes en el agua subterránea de la región de estudio

CONCLUSIONES

La comparación de nitratos con los otros aniones encontrados en las muestras de agua de la región de estudio, no mostró correlación entre ellos, tal como sucede de manera natural y cuando la contaminación es inorgánica. Así, la falta de correlación entre estos parámetros puede ser un indicador del origen orgánico de los nitratos en el agua subterránea.

Las concentraciones de nitratos en los pozos fuera de la granja, tuvieron valores cercanos a 45 mg/l que es el valor límite establecido por la Norma Mexicana, aunque ocasionalmente dichas concentraciones excedieron este valor. Con base en las características químicas y en las concentraciones del ion nitrato, se sugiere la existencia de una conexión hidráulica del pozo 7 con las partes más profundas del acuífero, lo que resulta en un agua de mezcla que no es afectada por las actividades de la granja.

La diferencia en tiempo y en cantidad de la lixiviación y arrastre de los nitratos mostrada en algunos pozos se asocia con el tipo preferencial de flujo en el acuífero, el cual permite encontrar pequeñas áreas con una gran contaminación más que una contaminación de carácter regional.

La lixiviación de los nitratos debida a la aplicación de la excreta porcina en cantidades mayores que las necesarias para la asimilación por el cultivo agrícola, se observó aproximadamente 6 meses después de la aplicación; este desfaseamiento, mostró la importancia de determinar el contenido de nitratos en la excreta porcina antes de su aplicación, para prevenir un exceso que permita la lixiviación de contaminantes hacia el agua subterránea.

La densidad de bacterias en el agua subterránea no es un buen indicador para la evaluación del impacto en la calidad del agua causado por la aplicación de las excretas como fertilizante, ya que existe a nivel freático una contaminación bacteriológica regional ocasionada por diversas fuentes; por lo que el impacto del uso de la excreta como fertilizante, solo pudo observarse después de los eventos de lluvia intensa y por la presencia de algunas especies del género *Enterobacteriaceae* que no fueron aisladas en los pozos localizados fuera del área de aplicación de la excreta.

Los nitratos, pueden ser considerados como buenos indicadores del impacto en la calidad del agua, ya que es posible observar después de cierto tiempo, el incremento en su concentración debido a la lixiviación y al arrastre de la materia nitrogenada que no fue aprovechada por las plantas durante su crecimiento.

Se sugiere un manejo integral de los desechos orgánicos de granjas porcinas para prevenir el uso inadecuado de los mismos y reducir el riego de lixiviación y arrastre de contaminantes, en especial, en regiones en las que el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado a través de proyectos de investigación financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Claves: 2191P-B9507 y 27912T) y por la Universidad Nacional Autónoma de México (PAEP, 103314 y 030623). Asimismo, J. Pacheco agradece al CONACyT y al PROMEP, el apoyo económico otorgado para realizar estudios de doctorado.

REFERENCIAS

- APHA., AWWA., WEF. (1996). Standard methods for the examination of water and wastewater (18 th ed). Washington, D.C. USA
- Conway G.R., Pretty J.N. (1991). Unwelcome Harvest-Agriculture and Pollution. Citado por Scialabba, N (1994)., p.9.
- Harvey R. (1989). Considerations for modeling transport of bacteria in contaminated aquifers. In: IAHS Publishers. Groundwater Contamination. Proceedings of the Symposium. Baltimore, MD, USA, pp.75-82
- Heaton T.H.E. (1985). Isotopic and chemical aspects of nitrate in the ground-water of the Springbok Flats. Water SA, Vol. 1, pp. 199-207

- Lewis W.J., Farr J.L., Foster, S.S.D. (1980). The pollution hazard to village water supplies in eastern Botswana. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2., pp. 281-293
- NOM-127-SSA1 (1994). Norma Oficial Mexicana. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Pacheco A., Vázquez B., Méndez N. (1997). Nitratos en el agua subterránea de una región con actividad porcícola. Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Vol. 1, No. 1, pp. 81-87
- Scialabba, N. (1994). Los residuos del ganado y el medio ambiente. Servicio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de Investigación, Extensión y Capacitación. Departamento de Desarrollo Sostenible. 25 p.
- Steinich, B., Marin, L. (1997) Determination of flow characteristics in the Aquifer of the Northwestern Peninsula of Yucatan, Mexico. J. Hydrol. Vol. 191, pp. 315-331.