

## Radón 222 y Tritio en la identificación y cuantificación de la contaminación por hidrocarburos en las aguas subterráneas. 2. Patrones de $^{222}\text{Rn}$ , $^3\text{H}$ y CL

*Radon 222 and Tritium in the identification and quantification of NAPL contamination in ground water. 2.  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^3\text{H}$  and CL patterns*

L.F. Molerio León<sup>1</sup>, I. M. Fernández Gómez<sup>2</sup> y J. A. Carrazana González<sup>3</sup>

INVERSIONES GAMMA, S.A.<sup>1</sup>, PO Box 6219, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba;  
E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com),<sup>2</sup> Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba E-mail: [isis@cphr.edu.cu](mailto:isis@cphr.edu.cu)  
<sup>3</sup>Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba E-mail: [carrazana@cphr.edu.cu](mailto:carrazana@cphr.edu.cu)

### RESUMEN

Este es el segundo y último artículo sobre el tema que presenta los patrones típicos de comportamiento de  $\text{Rn}^{222}$  y  $^3\text{H}$  en la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas en los casos siguientes: a) aguas subterráneas dulces (no afectadas prior la intrusión marina), b) aguas subterráneas dulces afectadas por eventos aislados de avance de la intrusión marina, c) aguas intrusionadas por el mar, d) aguas subterráneas afectadas por un evento de derrame de aguas de capa y e) aguas subterráneas afectadas por un evento de derrame de hidrocarburos.

Palabras clave: hidrocarburos, aguas de capa, crudos pesados, Cuba, radón, tritio.

### ABSTRACT

This is a second and last paper on these theme and presents the typical behavior of  $\text{Rn}^{222}$  and  $^3\text{H}$  at the Northern Havana-Matanzas Heavy Oil Belt for the following cases: a) fresh ground waters (unaffected by sea water intrusion), b) fresh ground water affected by isolated advances of sea water intrusion, c) fresh ground water intruded by sea water, d) ground water affected by oil spill and e) ground water affected by produced water spill.

Key words: hydrocarbons, produced water, heavy oil, Cuba, radon, tritium

### PATRONES GENÉRICOS

Hulla *et al.* (1987) y Jordan y Frohlich (1987) han destacado especialmente el papel del origen y la edad de las aguas como variable a considerar en el monitoreo hidrogeológico. Una excelente revisión de la aplicación de las técnicas isotópicas en el estudio de la intrusión marina se debe a Araguas y Gonfiantini (1991). El problema hidrogeológico se centró en evaluar si, además de su utilidad para el reconocimiento de contaminación por LFNA, el  $^{222}\text{Rn}$  y el  $^3\text{H}$  podrían emplearse para distinguir otros eventos de contaminación típicos de áreas cársicas costeras sometidas a la presión de la exploración-explotación de hidrocarburos.

Para ello se evaluaron los patrones de comportamiento estacional y la actividad o concentración en los siguientes casos:

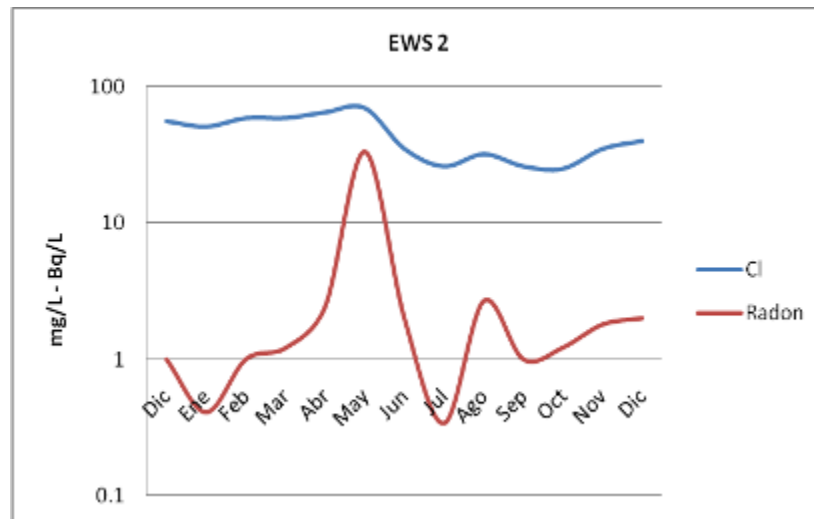
- Aguas subterráneas dulces (no afectadas prior la intrusión marina)
- Aguas subterráneas dulces afectadas por eventos aislados de avance de la intrusión marina.
- Aguas intrusionadas por el mar.
- Aguas subterráneas afectadas por un evento de derrame de aguas de capa.
- Aguas subterráneas afectadas por un evento de derrame de hidrocarburos.

### **Aguas subterráneas dulces (Sin intrusión marina)**

Los patrones normales registrados en aguas cársicas subterráneas dulces, próximas a la zona de alimentación se muestran en la Fig. 3, donde el  $^{222}\text{Rn}$  y el Cl exhiben, aproximadamente, el mismo comportamiento.

La correspondencia es aceptable y, para un 95% de certidumbre el coeficiente de correlación lineal es de 0,84.

En la Fig. 4, que muestra otro pozo en el mismo sistema acuífero, 700 m aguas arriba del EWS 2, el coeficiente de correlación entre el Tritio y Cloruros es de 0,87, para el 95% de certidumbre. El comportamiento temporal es, prácticamente, el mismo indicando, por otra parte, la cercana presencia de las fuentes de recarga natural local.



**Fig. 3. Ejemplo de patrón de Cloruros y  $^{222}\text{Rn}$  en un acuífero de aguas dulces.**



**Fig. 4. Ejemplo de patrón de Cloruros y Tritio en un acuífero de aguas dulces.**

### **Aguas subterráneas dulces con evento de intrusión marina**

El mismo acuífero, sin embargo, experimentó un avance de la intrusión marina registrado en el pozo EWS 2 en el mes de Abril (Figs. 5 y 6) que provocó la divergencia total de las relaciones  $^3\text{H}=\text{f}(\text{Cl})$  y  $^{222}\text{Rn}=\text{f}(\text{Cl})$  en el sistema acuífero.

### **Acuífero con intrusión marina**

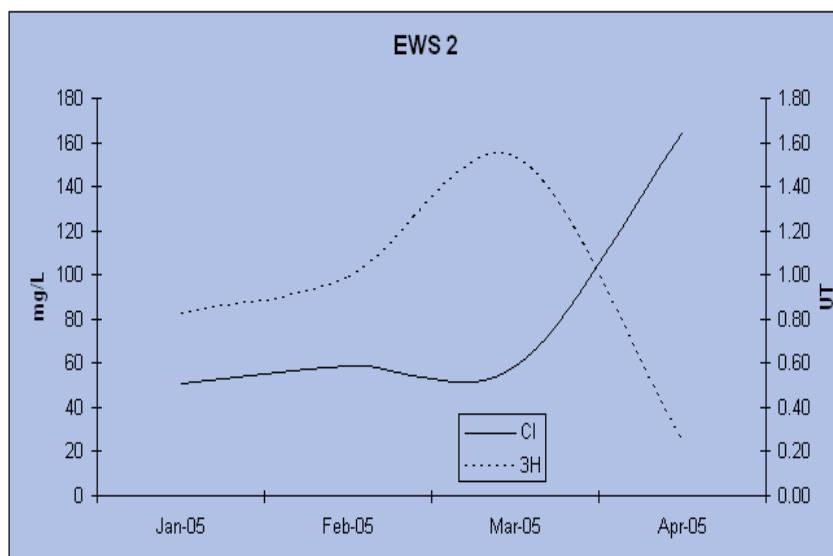
En este caso, las dependencias Cloruro-Radón (Fig. 7) no resultaron concluyentes mas, sin embargo, las relaciones  $\text{Rn}/^3\text{H}$  y  $^3\text{H}/\text{Cl}$  (Figs. 8 y 9) muestran patrones bien diferenciados para identificar la presencia de un aporte de agua de mar en el acuífero.

### **Evento de derrame de agua de capa producida**

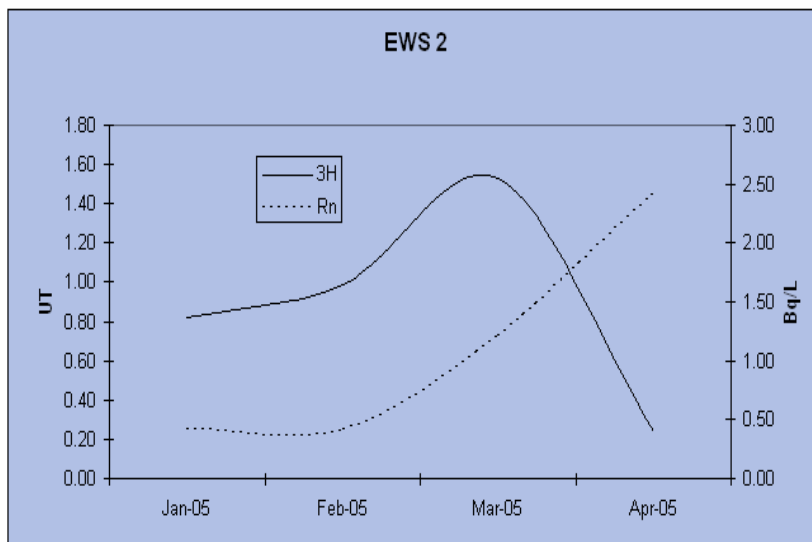
Sin embargo, en presencia de un evento de derrame de agua de capa, el Radón incrementa su efectividad como indicador, tanto por su capacidad de partición con los hidrocarburos como por su divergencia en condiciones de elevada salinidad (Fig. 10).

### **Evento de contaminación por petróleo**

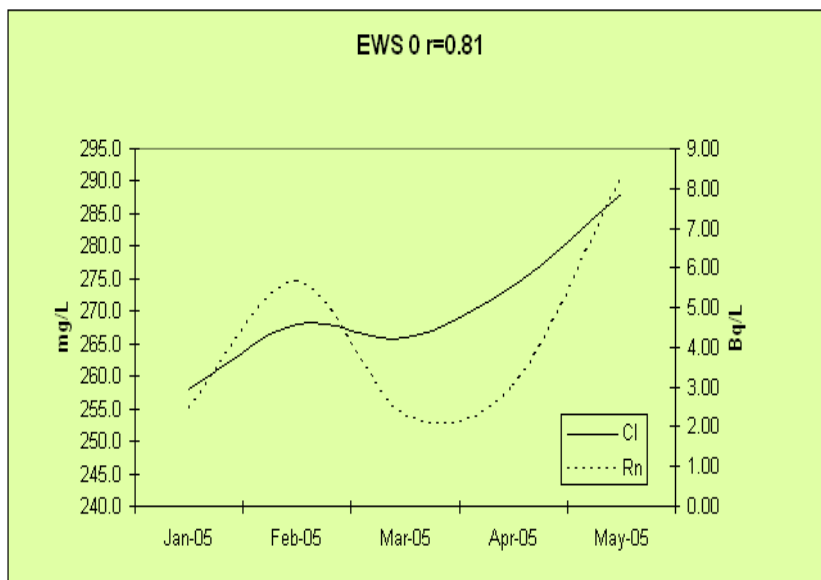
La propiedad de partición del Radón 222 en presencia de hidrocarburos queda claramente manifestada en los ejemplos de las Figs. 11 y 12, donde el paso de la pluma de contaminación de LFNA y la recuperación del acuífero quedan perfectamente expresadas en la disminución e incremento alternativos de la actividad del  $^{222}\text{Rn}$  en las aguas subterráneas.



**Fig. 5. Correspondencia Tritio-Cloruros en aguas subterráneas dulces en presencia de un evento de intrusión marina.**



**Fig. 6. Correspondencia Radón-Cloruros en aguas subterráneas dulces en presencia de un evento de intrusión marina.**



**Fig. 7. Relación Cloruros - Radón 222 en un acuífero con intrusión marina.**

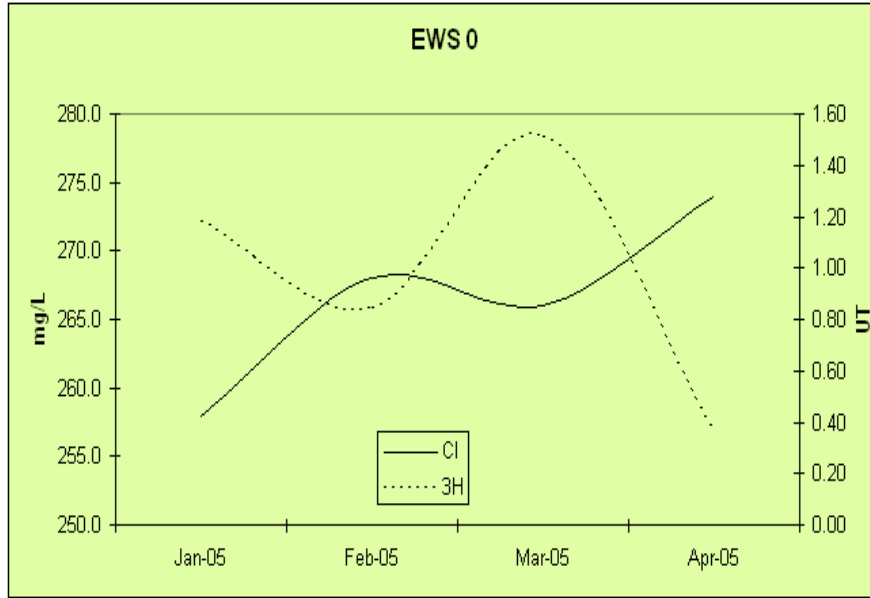


Fig. 8. Relación Cloruros – Tritio en un acuífero con intrusión marina.

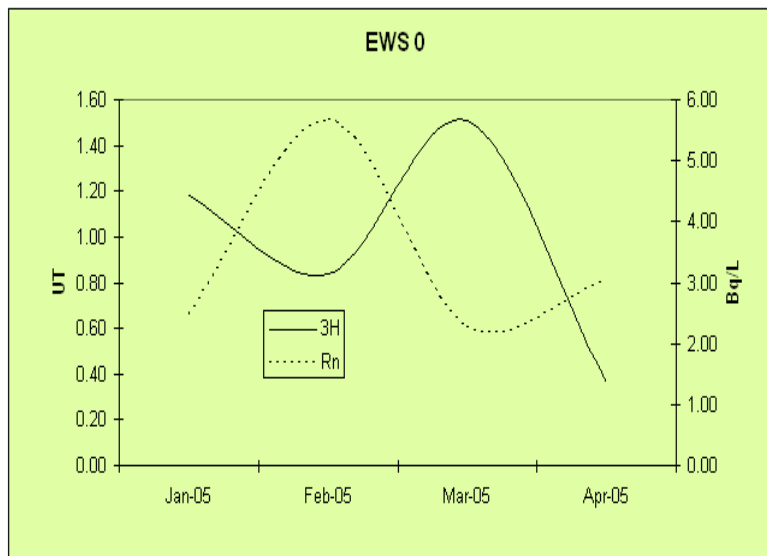


Fig. 9. Relación Tritio – Radón 222 en un acuífero con intrusión marina.

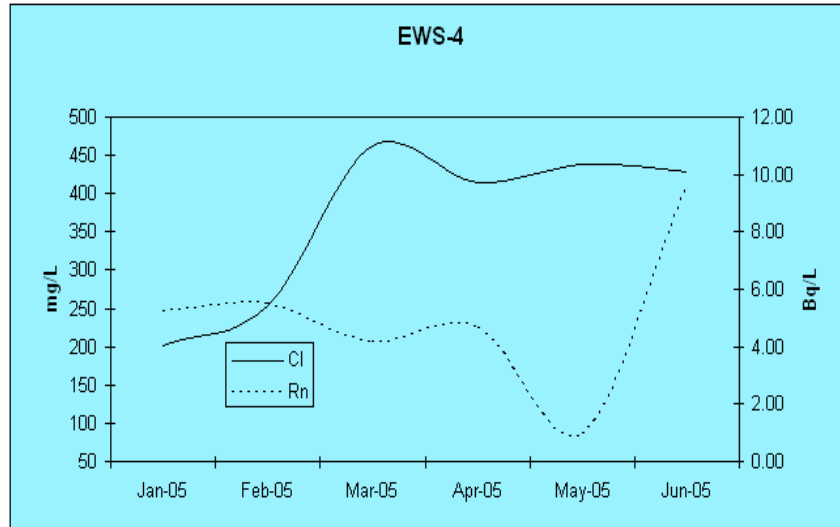


Fig. 10. Evento de derrame de agua de capa en el acuífero.

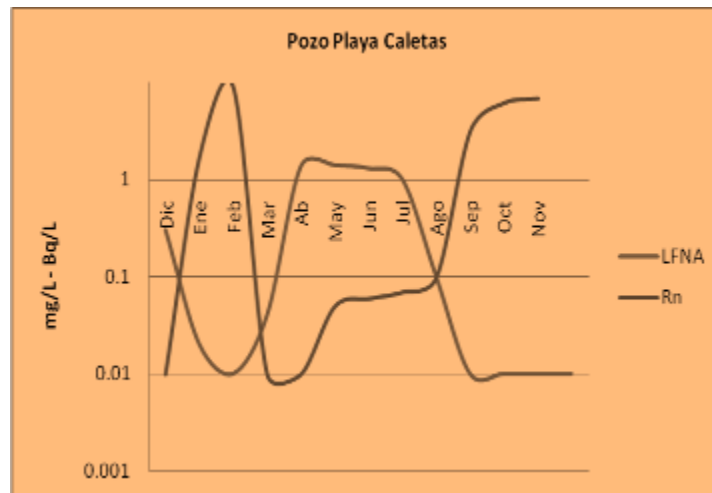
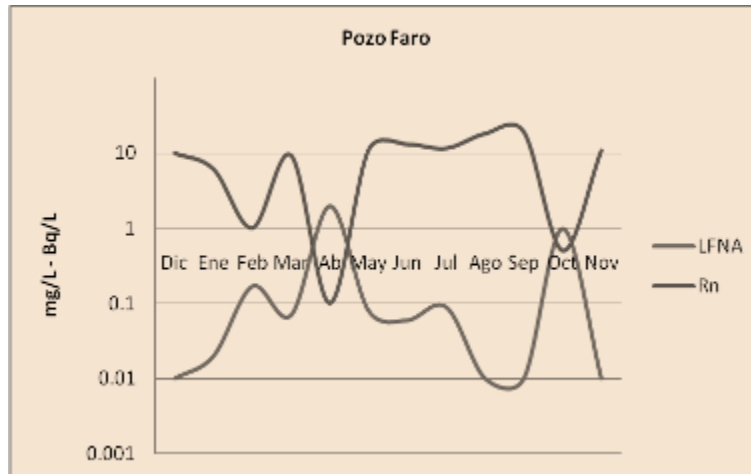


Fig. 11. Variación estacional de la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  y eventos de contaminación por derrame de hidrocarburos



**Fig. 12. Variación estacional de la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  y eventos de contaminación por derrame de hidrocarburos**

#### NOTA FINAL

1. Las propiedades de partición del  $^{222}\text{Rn}$  con líquidos orgánicos pueden ser utilizadas eficazmente para distinguir la presencia de contaminaciones por hidrocarburos en las aguas subterráneas.
2. La diferente correspondencia que muestra con el Tritio en presencia de intrusión marina constituye también una ventaja adicional para separar la presencia de cloruros provenientes de esta fuente de aquellos que provienen de las aguas de capara producidas en pozos de petróleo.
3. Eventos aislados de avance de la intrusión marina pueden ser eficazmente detectados midiendo sistemáticamente la actividad del  $^{222}\text{Rn}$  en las aguas subterráneas en una Red de Monitoreo diseñada con tales fines.
4. La facilidad de colecta, conservación y medición de las actividades de Radón, Tritio y las concentraciones de Cloruros y su bajo precio refuerzan considerablemente incorporar estas variables al monitoreo hidrogeológico en las complejas condiciones hidrogeológicas descritas en este estudio.
5. Los principales inconvenientes de la aplicación conjunta de estas técnicas son, sin embargo, el corto tiempo de vida del Radón 222, y los bajos valores de Tritio en la atmósfera y, por ende, en muchas de las aguas subterráneas muestreadas.

#### BIBLIOGRAFÍA

Hulla, J., R. Raving, P. Turcek, H.P. Jordan (1987): Artificial radiotracers in groundwater flow measurements. Internatl. Symp. Groundwater Monitoring and Management, Dresden, GDR, Inst.Water Management, Berlin, 12 pp

Jordan, H., K. Fröhlich (1987): Groundwater dating in monitoring groundwater resources. Internatl. Symp. Groundwater Monitoring and Management, Dresden, GDR, Inst.Water Management, Berlin, 29 pp