

MODELO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE AGUAS PRODUCIDAS TRATADAS DE YACIMIENTOS GASOPETROLÍFEROS CARBONATADOS EN ACUÍFEROS CÁRSICOS LITORALES SOMEROS SALINIZADOS. 2. APLICABILIDAD DEL MODELO

A model for the final disposal of produced water from carbonate oil & gas fields in shallow coastal karst salinised aquifers 2. model applicability

L.F. Molerio León
INVERSIONES GAMMA, S.A.,
PO Box 6246, CP 10600, Habana 6, Ciudad de La Habana, Cuba;
E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

RESUMEN

Se presentan los aspectos metodológicos básicos para identificar la factibilidad en la aplicación del Modelo de Pitzer. Se describen las propiedades que se requieren del cuerpo receptor y los procedimientos de caracterización en las aguas de capa, en el cuerpo receptor y en el sistema de tratamiento, recarga y control de manera que pueda diseñarse y operarse de manera económica y ambientalmente eficiente.

Palabras clave: acuífero cársico, aguas producidas, inyección de aguas de capa, petróleo, teoría de la interacción iónica

ABSTRACT

The basic methodology to identify the feasibility of the application of the Pitzer Model is developed in this paper. The properties of the reception body are described as well as those procedures that have to be fulfilled by the produced waters, the reception body and the treatment, recharge and control techniques to ensure that the shallow disposal system could be properly designed and operated with economic and environmental efficiency.

Key words: injection of formation waters, karst aquifer, oil, produced waters, theory of ionic interaction

PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO

El **Modelo de compatibilidad de las aguas subterráneas de acuíferos cársicos litorales someros para la disposición final de aguas producidas tratadas de yacimientos gasopetrolíferos carbonatados** es hidrogeológicamente factible en tanto se cumplan un grupo de condiciones de contorno del medio físico de las cuales pueden citarse las siguientes como las más importantes:

Rango de aplicación

- Yacimientos gasopetrolíferos carbonatados, preferentemente paleokarsts.
- Aguas de formación que no constituyan verdaderas salmueras de petróleo.

- Acuíferos cársicos litorales conformes o contrarios o epikarsts.
- Elevado tiempo de residencia de las aguas, preferentemente desvinculadas del ciclo hidrológico actual.
- Cuerpos receptores constituidos por sistemas de flujo locales bien diferenciados, preferentemente aparatos cársicos semiconfinados o semilibres.

Propiedades del cuerpo receptor

- Compatibilidad agua subterránea-roca-agua de formación-agua de mar.
- Adecuada capacidad de absorción.
- Baja capacidad transmisiva y alto almacenamiento.

La correcta aplicación del modelo se basa en la observancia estricta de los siguientes procedimientos:

En las aguas de capa

1. Identificación del volumen y caudal del agua de capa.
2. Caracterización física, química e isotópica con fraccionamiento isotópico del tipo de salmueras o de evaporación en cuencas cerradas (Barrazán et al., 2001).

En el cuerpo receptor

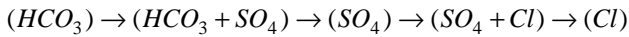
1. Caracterización física, química e isotópica de las aguas subterráneas.
2. Identificación en el epikarst y en el acuífero, de las propiedades inerciales y autorreguladoras del karst litoral (Molerio, Guerra y Leal, 2013).
3. Identificación del tiempo de residencia de las aguas.
4. Identificación de la compatibilidad agua de formación-roca-agua subterránea-agua de mar.

En el sistema de tratamiento, recarga y control

1. Capacidad tecnológica, ambiental y financiera (costos capitales y de operación) para satisfacer las restricciones ambientales que imponga la autoridad ambiental.
2. Capacidad tecnológica para satisfacer la compatibilidad agua de formación-roca-agua subterránea.
3. Diseño, construcción y ensayo del sistema de absorción o recarga.
4. Diseño, construcción del sistema de monitoreo.
5. Operación del sistema (tratamiento-inyección-monitoreo)

La aplicación del modelo, como solución al problema de la disposición final de las aguas de capa tratadas tienen parte de su basamento en la estructura y variabilidad de los patrones geoquímicos de las aguas terrestres cubanas que se deriva de la Teoría de los Miembros Terminales de las Aguas propuesta por el autor en 1992 como resultado de un estudio sobre la composición química e isotópica de las aguas de lluvia de Cuba (Molerio, 1992). Toma parte de su basamento en la revisión de la Secuencia General de Chebotarev propuesta

por este autor en 1955, que se expresa como y describe el cambio general de composición química de las aguas terrestres, particularmente las subterráneas desde las fuentes de alimentación hasta el mar.:



Los miembros terminales cuya composición genérica en macroconstituyentes y sales disueltas totales se muestra en la Fig. 1 fue obtenida mediante el procesamiento estadístico de varios miles de muestras de aguas terrestres, de lluvia y marinas entre 1974 y 1992 que se publicó originalmente. Con los años se ha ido adecuando incorporando nuevos miembros y, como es el caso de este artículo, se ha insertado en ellas la composición estandarizada de varios cientos de muestras de aguas de capa de la Franja Norte de Crudos Pesados Habana-Matanzas. Los estudios preliminares desarrollados por el autor respecto a la compatibilidad entre las aguas de capa y las de los acuíferos litorales cársicos salinizados por intrusión marina son prometedoras y sugieren que existe buena compatibilidad entre ellas.

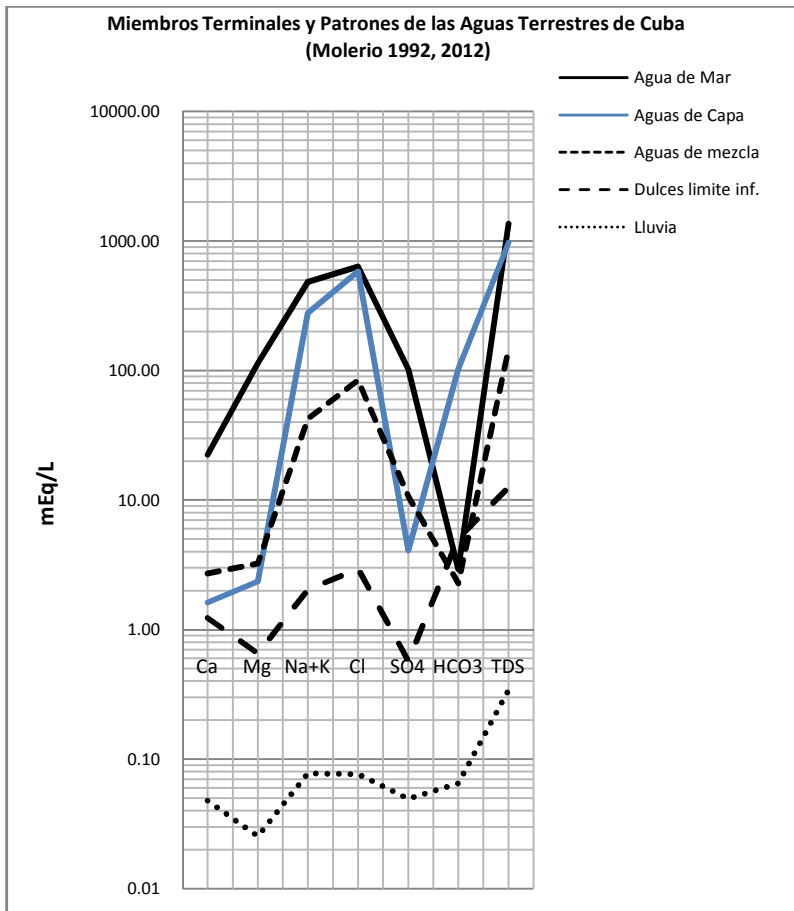


Fig. 1. Miembros terminales de las aguas cubanas (según Molerio, 1992, 2012)

El sistema multicomponente agua subterránea de diferente salinidad, agua de capa, agua producida tratada y agua de mar presenta afinidad y compatibilidad geoquímica. Este tipo de procesos de intercambio constituyen un grupo particular de procesos superficiales en los que, de nuevo, las interacciones electrostáticas entre los iones disueltos y las superficies sólidas cargadas juegan un papel fundamental. En los procesos de intercambio un ión asociado a una superficie es reemplazado por otro ión procedente de la solución acuosa. Por ello, pueden contemplarse como una combinación de fenómenos concatenados de adsorción y desorción.

Pese a esta mayor complejidad respecto a los aparentemente “más simples” procesos de adsorción o desorción, los procesos de intercambio iónico son tratados mediante leyes de acción de masa, con sus constantes de equilibrio correspondientes, sin considerar correcciones electrostáticas. Este tratamiento es, en principio, similar al empleado con los procesos de disolución-precipitación mineral. No obstante, presenta una serie de aspectos distintivos que no conviene olvidar.

Por un lado, no se dispone de ningún modelo riguroso con el que obtener las actividades de los iones situados en las posiciones de intercambio de la superficie, elementos que entran en las leyes de acción de masa de forma análoga a los iones en solución que intervienen en la reacción de intercambio. Por otro lado, las constantes de equilibrio de las reacciones de intercambio no son realmente constantes. Estas particularidades condicionan específicamente la metodología de trabajo con los procesos de intercambio y son las responsables de la existencia de distintos convenios para su tratamiento.

COMPATIBILIDAD GEOQUÍMICA

Los procesos de intercambio iónico son un tipo de procesos superficiales en los que se combinan fenómenos simultáneos de adsorción y desorción. Estos procesos suponen el desplazamiento de un ión “asociado” a una superficie sólida por otro presente en la solución acuosa y, por ello, pueden ser considerados como una expresión más de los mecanismos competitivos (por un limitado número de sedes de adsorción) que intervienen en los procesos de superficie.

Normalmente se considera que este tipo de procesos de intercambio afectan a los iones adsorbidos como complejos de esfera externa en la capa de Stern o a los situados en la capa difusa asociada a las superficies cargadas y puede producirse entre aniones (intercambio aniónico) o entre cationes (intercambio catiónico). Los procesos de intercambio iónico son rápidos, reversibles y estequiométricos. Dentro del conjunto de procesos geoquímicos de baja temperatura representan uno de los tipos de reacciones con una velocidad más elevada y, por ello, su cinética se encuentra controlada por los mecanismos de transporte de los iones. Este tipo de procesos se denominan estequiométricos ya que, como consecuencia del requerimiento de electroneutralidad, los iones

que abandonen la superficie tienen que ser reemplazados por una cantidad equivalente (en términos de carga eléctrica) de otros iones.

Los procesos de intercambio iónico pueden ser tanto procesos de intercambio catiónico como procesos de intercambio aniónico. El que sea de un tipo u otro dependerá de la carga de la superficie sólida en contacto con la solución acuosa. La compatibilidad geoquímica se muestra en las Figs. 2 y 3. Los resultados más importantes son:

- Las aguas que integran el sistema multicomponente tienen una composición en macroconstituyentes semejante.
- La data correspondiente a las aguas de capa no muestra la existencia de verdaderas salmueras de petróleo. Por el contrario, como puede verse en las figuras correspondientes, todos los casos evaluados muestran aguas con mineralización igual o menor a las del mar en la zona de trabajo y de composición semejante a las aguas subterráneas lo que parece deberse a:
 - Son aguas de horizontes carbonatados carsificados y/o con notable porosidad secundaria.
 - Los tiempos de renovación son variables pero más bien bajos.
 - Las aguas de los yacimientos no parecen haber sido sometidos a procesos intensos de evaporación y concentración geoquímica.

La fuente principal de aporte de las aguas subterráneas en Cuba son las lluvias y, por tratarse de un territorio insular, el elemento traza distintivo es la concentración de Cloruros (Cl). La concentración base de Cloruros en el agua de lluvias se determina:

- Mediante mediciones directas.
- Aplicando la Ecuación de Schoeller-Molerio (en mg/L) de nivel de fondo de Cl en el agua de lluvia en función de la distancia a la costa x (en km):

$$Cl = 16 \exp(-0,0462x) + 5 \exp(-0,0015x)$$

Todas las aguas subterráneas en acuíferos carbonatados muestran patrones geoquímicos semejantes y las diferencias básicas se deben a: a) la distancia a la costa y b) el tiempo de residencia de las aguas (tiempo de contacto agua-roca) lo que incluye el potencial de velocidad y el grado de saturación con respecto a los iones básicos (Ca, Mg, Na).

Todas las aguas terrestres de Cuba se encuentran en los límites establecidos en los Miembros Geoquímicos Terminales descritos por Molerio (1992, 2012). Las aguas de diferentes fuentes/horizontes acuíferos pueden mezclarse si exhiben compatibilidad geoquímica, que es una función de las fuentes y la distribución y la concentración de los macro constituyentes (HCO_3 , SO_4 , Cl, Ca, Mg, Na, K).

Las aguas producidas de los yacimientos gasopetrolíferos carbonatados muestran patrones semejantes a los de las aguas subterráneas salinizadas de

los acuíferos cársicos litorales someros. Las diferencias fundamentales en microelementos seleccionados se deben al diferente grado de saturación y migración acuosa. La saturación diferencial se resuelve mediante el Modelo de Pitzer de manera mucho más precisa que con el modelo clásico de Debye-Huckel.

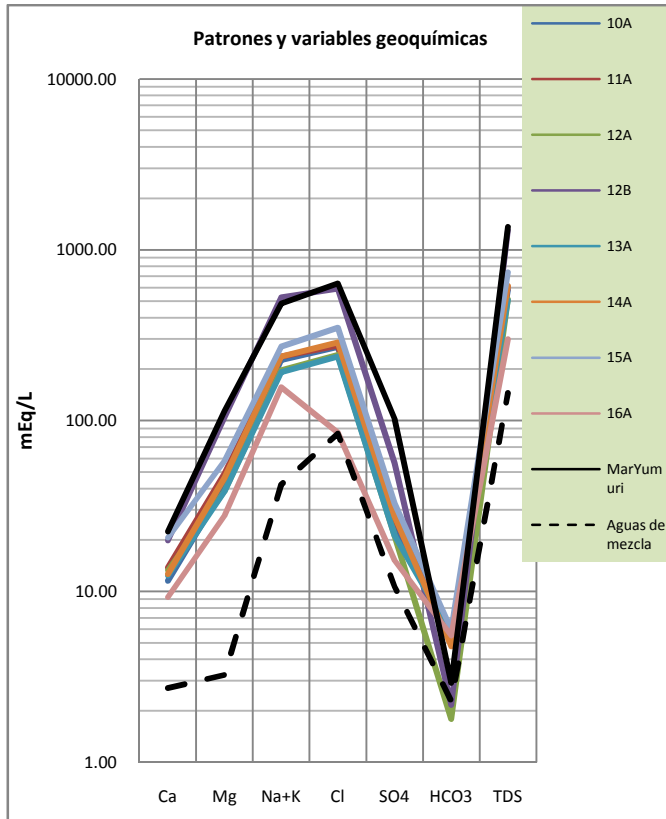


Fig. 2. Patrones geoquímicos y composición en macroconstituyentes de las aguas subterráneas en el área de ensayo a partir de la información de los pozos de observación.

La compatibilidad geoquímica debe definirse entre:

- las aguas producidas a inyectar y los fluidos del horizonte receptor.
- las aguas producidas a inyectar y la litología de las zonas de inyección y los sellos o capas confinantes.
- la capacidad calorífica del agua producida a inyectar y la del acuífero.
- las propiedades agresivas o incrustantes de la mezcla de agua resultante

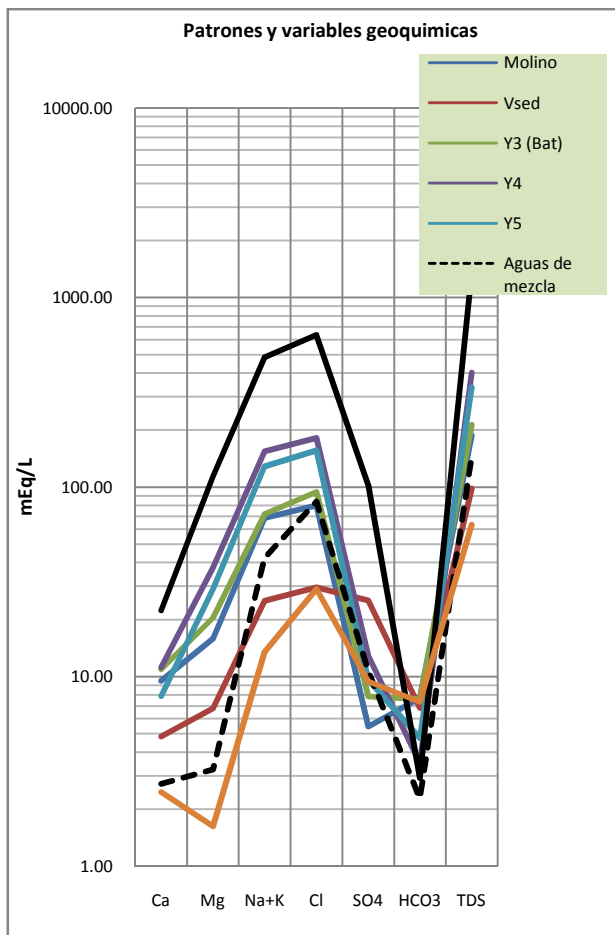


Fig. 3. Patrones geoquímicos y composición en macroconstituyentes de las aguas subterráneas en el área de ensayo.

NOTA FINAL

1. La posibilidad de utilizar pozos de inyección con baja o nula presión para la disposición final de aguas de capa tratadas de yacimientos gasopetrolíferos onshore de la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas (FCP) parece una alternativa viable utilizando el acuífero cársico litoral somero carsificado salinizado por intrusión marina con mineralizaciones superiores a los 10000 mg/L que se extiende a lo largo del litoral donde tienen lugar las operaciones gasopetrolíferas.
2. Esta alternativa representa un cambio rotundo en la matriz de disposición final de las aguas de capa tratadas y su implementación estaría en dependencia de la aceptabilidad ambiental del acuífero para recibir determinados volúmenes de las aguas tratadas que se basa en el Modelo de compatibilidad de las aguas subterráneas de acuíferos cársicos litorales someros para la disposición final de aguas producidas

tratadas de yacimientos gasopetrolíferos carbonatados fundamentada en la Teoría de la Interacción Iónica Pitzer, en la Teoría de los Miembros Terminales de las Aguas Terrestres de Cuba y en un conjunto de propiedades físicas, hidráulicas, geoquímicas e hidrodinámicas del acuífero.

REFERENCIAS

Barrazán, R.M., Portugal, E., Arellano, V.M., Martínez, A.E., Ascencio F. 2001. Modelación química de aguas de formación del Activo Luna, Tabasco. Bol. 11E, Julio-Agosto :180-184

Molerio León, L. F. 1992. Composición Química e Isotópica de las Aguas de Lluvia de Cuba. II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba,:20-21

Molerio León, L.F. 2012. Hidrología de Trazadores en la gestión ambiental de yacimientos de petróleo onshore. Mapping Interactivo. No. 154, Julio-Agosto, 2012

Molerio León, L.F. 2013. Ecuaciones de intercambio termohidrodinámico entre medios continuos múltiples en el karst y sus consecuencias ambientales. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 13, No.24, 2012 ISSN-1683-8904, La Habana, 15:
<http://ama.redciencia.cu/articulos.php?sid=91529a91e366de61e4ac7b8e3f27fb89>

Molerio León, L.F; Guerra Oliva, M.G., Leal, R.M. 2013. Modelo Difusivo de Transporte de Masa. Algoritmo Adriana, Versión 2.91) y Curvas de Retención de Humedad en la Zona No Saturada de los acuíferos cársicos .Modelo RETC). Aplicación a las cuevas del tercio superior del curso subterráneo del río San Antonio, Artemisa, Cuba. Mapping Latino. 23 Septiembre 2013, 51:
<http://mappinglatino.com/blog/2013/09/23/modelo-difusivo-de-transporte-de-masa-algoritmo-adriana-versin-2-91-y-curvas-de-retencion-de-humedad-en-la-zona-no-saturada-de-los-acuferos-carsicos-modelo-retc-apl/>