

## Caracterización geoquímica del agua producida en los pozos del Cretácico de los campos Ku, Maloob y Zaap

*M. en I. María de Jesús Correa López*

*M. en I. R. Antonio Rojas Figueroa*  
*Pemex*

Información del artículo: recibido: agosto de 2013, aceptado: junio de 2014

### Resumen

A partir del análisis fisicoquímico e isotópico realizado en muestras de agua obtenida de pozos de los campos Ku, Maloob y Zaap, muestras de agua meteórica y de fluidos de perforación como datos de calibración, se determinó el posible origen del agua de baja salinidad asociada con la producción de aceite aportada por algunos pozos de los yacimientos Ku, Maloob y Zaap Cretácico. Con la finalidad de conocer también la interacción de los fluidos con la roca del yacimiento, se analizó la composición isotópica de algunos núcleos representativos del yacimiento. La interpretación analítica de los datos de compuestos químicos y de isótopos estables ( $^2\text{H}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) y radiactivos ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) fueron utilizados para determinar la edad aproximada de las muestras de agua, el tiempo de residencia e inferir su origen de acuerdo con la caracterización de sus componentes. La posible detección de diferentes fuentes de agua (agua connata, agua de inyección), con variaciones en sus edades requirió la aplicación de varios métodos de fechamiento que cubren edades desde recientes hasta 50,000 años.

**Palabras clave:** Caracterización geoquímica, campos Ku, Maloob y Zaap, composición isotópica, análisis fisicoquímico.

### Geo-Chemical caracterizacion of the water produced at the wells from the cretaceous from fields Ku, Maloob & Zaap

#### Abstract

As per the chemical – isotopic analysis performed in water samples obtained from wells of the Ku, Maloob and Zaap fields, using weather water and drilling fluids as calibration data, it was determined the possible origin of the low salinity water associated to the oil production from some wells from the cretaceous reservoirs in Ku, Maloob and Zaap. With the intention to know the interaction between the fluids and the reservoir rock, the isotopic composition of some representative cores from the reservoir was analyzed.

The analytical interpretation of chemical compounds and stable isotopes data ( $^2\text{H}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and radioactive isotopes ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) were used to determine the approximate age of the water samples, the residence time and infer its origin as per the characterization of its components. The possible detection of different water sources (interstitial water, connate water, injection water) with variations in their age required the application of several dating methods covering from recent to 50, 000 years.

The characterization process started by the classification from the hydro-chemical data detected in the water and later the dating from tritium radioactive isotopes ( $^3\text{H}$ ) and  $^{14}\text{C}$ . Also, chemical characterization was performed for the water as for their composition in major elements and traces for brines classification. Finally, the origin of salinity was determined as result from the processes which affected the water-rock system.

**Keywords:** Geo-Chemical caracterizacion, fields Ku, Maloob & Zaap, isotopic composition, chemical analysis.

**Nota:** *La información presentada en este artículo es propiedad de Pemex.*

## Introducción

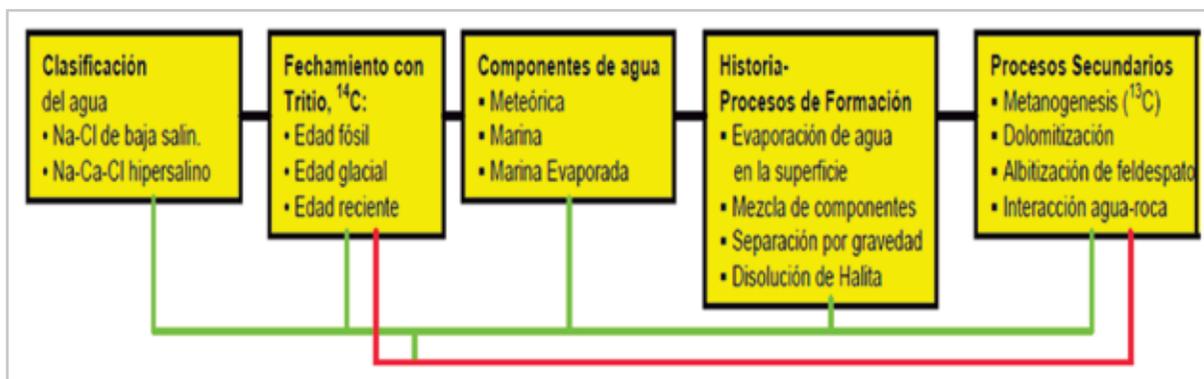
Se ha observado que en varios pozos productores en los yacimientos del Cretácico de los campos Ku, Maloob y Zaap, se tiene el aporte de agua de salinidad baja, incluso cuando los intervalos disparados están a más de 100 mv de distancia al contacto agua-aceite; valores de salinidad que al ser comparados con el contenido de sólidos totales representativos del agua de formación, que a este nivel debe ser de alrededor de 120,000 PPM, resultan mucho menores, por lo que se asume como evidencia de agua de diferente naturaleza al yacimiento mismo.

El objetivo del estudio que aquí se describe fue definir la procedencia del agua producida con valores de salinidades en el rango de los 40,000 a 70,000 PPM, mediante la clasificación físico-química e isotópica a partir de la cual se determinó la edad y tiempo de residencia de las aguas en el yacimiento, la composición y el tipo de agua utilizando diferentes técnicas de análisis químico e isótopos radiactivos principalmente.

Mediante la interpretación de los resultados de los diferentes análisis se definió un origen antropogénico de las muestras de agua de baja salinidad que no corresponden con las características del agua de formación de los yacimientos del Cretácico de los campos Ku, Maloob y Zaap.

## Metodología - clasificación físico-química e isotópica del agua

El proceso para determinar el origen del agua asociada con la producción de aceite en los yacimientos del Cretácico de los campos Ku, Maloob y Zaap inició con el análisis a de los datos hidroquímicos y posteriormente el fechamiento mediante isótopos radiactivos de Tritio ( $^3\text{H}$ ) y  $^{14}\text{C}$ . Se realizó también la caracterización química de las aguas en su composición de elementos mayores y traza para la clasificación de las salmueras. Finalmente se determinó el origen de la salinidad como resultado de los procesos que afectaron el sistema agua-roca, **Figura 1**.



**Figura 1.** Diagramas de flujo del proceso de caracterización geoquímica.

### Composición química de las muestras de agua

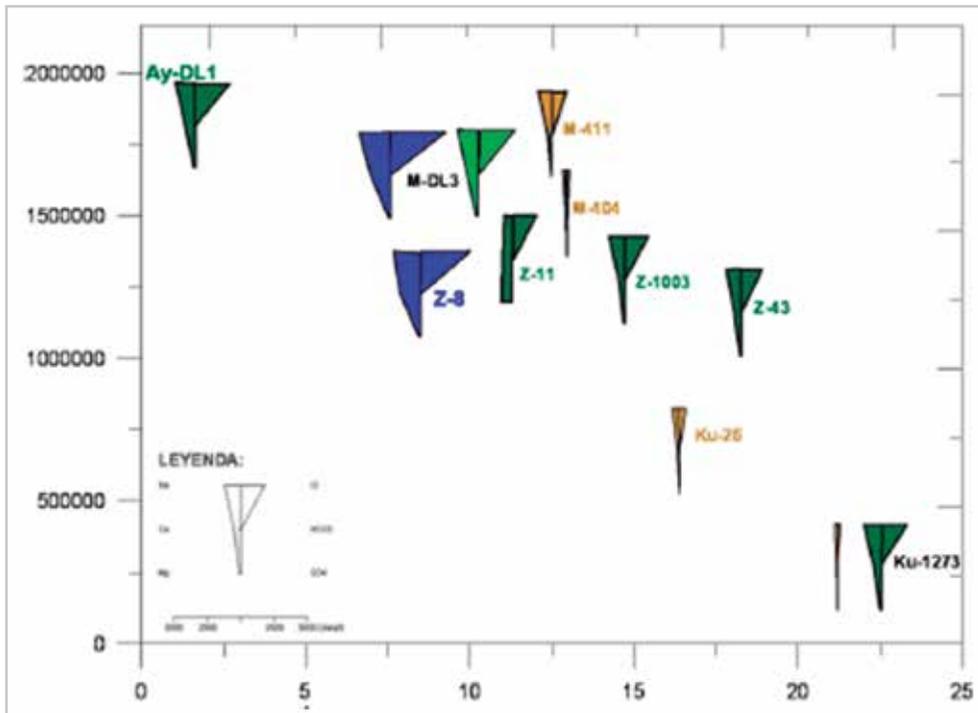
La caracterización química para la clasificación de las salmueras se realizó tanto en muestras de agua producida como en muestras de agua meteórica, agua marina y agua de perforación como referencia.

Los siguientes métodos fueron utilizados para determinar la composición de elementos mayores y traza:

- Clasificaciones gráficas de STIFF, PIPER, y SCHOELLER.
- Clasificación normativa de DAVIS.

### Diagramas de STIFF

Con base en el contenido de elementos mayores se llevó a cabo la clasificación de las muestras de agua, **Figura 2**. El diagrama Stiff usa tres ejes paralelos, teniendo un eje centrado, de donde se grafican los valores de tres cationes (Na, Ca, Mg) y tres aniones (Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ). La clasificación de STIFF permite hacer una cuantificación semi-cualitativa sobre las diferencias en la composición química de fluidos.



**Figura 2.** Distribución lateral de las concentraciones de elementos mayores (en forma de diagramas de STIFF), de las aguas de los campos Ku, Maloob Zaap. Los colores indican su pertenencia a diferentes unidades litológicas.

En la **Figura 3** se presenta una magnificación de escala para las muestras de referencia, resultando en la clasificación del tipo Na-CO<sub>3</sub> y Na-Cl-HCO<sub>3</sub> para las muestras del fluido de perforación, del tipo Na-Cl y Na-HCO<sub>3</sub>-Cl para agua meteórica, y Na-Cl para agua marina, reflejando que exclusivamente el agua marina presenta similitudes en su composición química con algunas muestras de agua de formación.

Las similitudes en la forma de las gráficas de STIFF, por tratarse del mismo tipo, por ejemplo Na-Cl, no implican automáticamente una coexistencia de las aguas.

### Diagramas de PIPER

Mediante el diagrama de PIPER (Piper, 1944), se usa la composición de Na, K, Mg, Cl, SO<sub>4</sub> y HCO<sub>3</sub> para la clasificación de aguas superficiales y subterráneas. Los análisis se presentan con base en el porcentaje de cada catión y anión. El triángulo en la parte inferior-izquierda representa el porcentaje de contribución entre los cationes, el triángulo en la parte inferior-derecha refleja el porcentaje de contribución entre los aniones, y la gráfica en forma de diamante muestra la suma de composiciones de agua en respecto a ambos, los cationes y aniones.

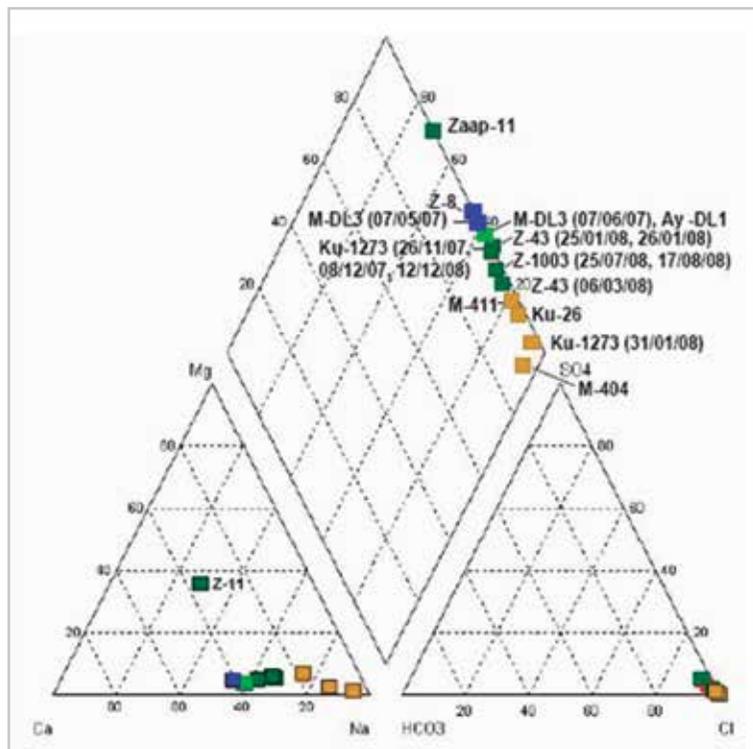


Figura 3. Diagrama de PIPER: Clasificación química de las muestras de agua de formación.

La contribución relativa de Ca es menor que en las aguas hipersalinas, mientras que aumenta la proporción de HCO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>.

Impactos antropogénicos explican la clasificación artificial de tipo Ca-Mg-Na-Cl como la del pozo Zaap-11. La muestra es de alta salinidad, con un alto contenido de Ca, Mg (ca.

25 % del total de cationes) y SO<sub>4</sub> (ca. 3 % del total de aniones). Algunas muestras de agua de formación de menor salinidad (Maloob-411, Zaap-43, Ku-26), se caracterizan por una correlación parecida entre los elementos disueltos como aquellos en agua marina (tipo Na-Cl), aunque su concentración de sólidos totales disueltos es variable (34,900 - 68,400 ppm).

Tipo Na-Ca-Cl	Tipo Na-Cl
<p><b>Cationes:</b></p> <p>Na 63 - 72 %</p> <p>Ca 25 - 35 %</p> <p>Mg 2 - 3 %</p> <p><b>Aniones:</b></p> <p>Cl &gt; 98 %</p> <p>HCO<sub>3</sub> 0.1 - 0.9 %</p> <p>SO<sub>4</sub> 0.1 - 0.6 %</p>	<p><b>Cationes:</b> Na 80 - 95 %</p> <p>Ca 4 - 16 %</p> <p>Mg 1 - 4 %</p> <p><b>Aniones:</b></p> <p>Cl 89 - 94 %</p> <p>HCO<sub>3</sub> 4 - 5 %</p>

Las muestras de fluido de perforación se caracterizan por una concentración intermedia de los SDT (5,450- 7,080 ppm) entre agua meteórica (24 - 90 ppm) y agua de formación (12,500 - 249,100 ppm). La composición química de estas muestras de fluido de perforación, indica una mezcla de diferentes tipos de agua y/o el uso de aditivos químicos que alteran la composición primaria.

### Diagramas de SCHOELLER

El diagrama de SCHOELLER (Schoeller 1955), permite una visualización directa de la composición química de varias muestras en una sola gráfica.

Los elementos Na-Ca-Cl dominan las aguas de mayor salinidad como las observadas en muestras obtenidas de intervalos productores en las unidades KM y KI, mientras que las aguas de menor salinidad observadas en muestras de la unidad *BTP-KS* son del tipo Na-Cl con una concentración relativamente menor de Ca y están relativamente enriquecidas en  $SO_4$  y  $HCO_3$ .

El agua marina se caracteriza por una dominancia de Na y Cl, pero con concentraciones relativamente bajas de Ca, Br y  $HCO_3$ . Los fluidos de perforación se encuentran en una posición intermedia entre agua meteórica y agua de formación.

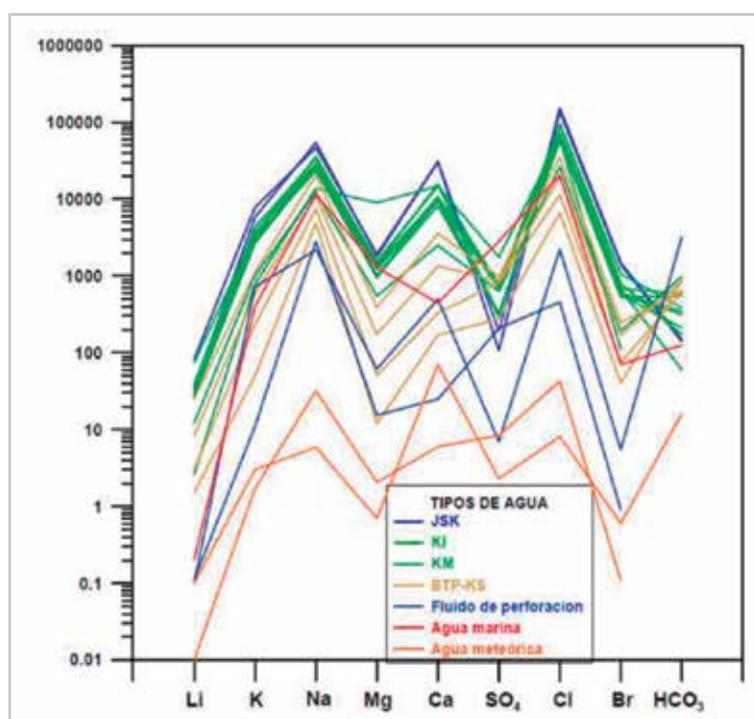


Figura 4. Diagrama de SCHOELLER.

La gran dispersión de las líneas de la gráfica de la **Figura 4** refleja la heterogeneidad en la composición química de las muestras. A su vez, las muestras de referencia (aguas de la superficie), tienen una composición muy distinta a aquella de las aguas subterráneas.

La mayoría de las aguas de formación del *KM* (excepto las muestras algunas muestras de Zaap), con impactos

antropogénicos se encuentra en un rango homogéneo de distribución de sus elementos mayores. El agua marina presenta una tendencia parecida a aquella de las aguas del *KM*, pero sus concentraciones de Li, Ca, Br y  $HCO_3$  son menores, y aquellas de  $SO_4$  son mayores. Los fluidos de perforación y las aguas meteóricas están varias potencias afuera del rango de concentraciones de las aguas de formación.

## Clasificación de DAVIS

La clasificación de DAVIS (1964) se basa en la concentración de sólidos disueltos totales:

- 100,000 ppm: Agua hipersalina
- 10,000 - 100,000 ppm: Agua salina
- 1,000 – 10,000 ppm: Agua salobre
- < 1,000 ppm: Agua dulce

Con base en la clasificación de Davis (1964), las aguas muestreadas se agrupan como sigue:

### Aguas hipersalinas

Es el grupo de muestras con valores de SDT extremadamente altos desde 103,700 ppm (Zaap-11) hasta valores máximos de 249,100 ppm (Maloob-DL3).

### Aguas salinas

En conjunto con agua marina, se clasifican como aguas salinas con concentraciones de SDT entre 10,000 y 100,000 ppm.

### Aguas salobres

Las muestras de los pozos Maloob-404 y Zaap-43 (12/01/08) se clasifican como aguas salobres con una concentración de SDT de 12,500 y 1,430 ppm, respectivamente. Aparte, las muestras de fluido de perforación con una concentración de SDT entre 5,450 y 7,080 ppm se encuentran en el mismo rango.

## Análisis de isótopos radiactivos

La determinación de la edad, el tiempo de residencia y el origen de los fluidos analizados (muestras de agua), se realizó mediante el análisis de los isótopos radiactivos de tritio y  $^{14}\text{C}$  en hidrógeno y carbonatos. La posible detección de diferentes fuentes de agua (agua intersticial, agua fósil, agua meteórica reciente), con variaciones en sus edades requiere la aplicación de varios métodos de fechamiento que cubren un rango de edades desde reciente (por ejemplo con el método de Tritio) hasta 50,000 años (por ejemplo método de  $^{14}\text{C}$ ). Por los procesos dinámicos de migración de acuíferos subterráneos, aguas con una edad medida de más que 50,000 años se consideran como aguas del tipo fósil o intersticial del mismo yacimiento. El isótopo radiactivo de  $^{129}\text{I}$  se determinará exclusivamente en las del primer muestreo con la finalidad de encontrar la existencia de aguas recientes y connatas (agua marina o agua meteórica) en el yacimiento.

La heterogeneidad en la composición química de las aguas de formación, **Figura 5**, es un indicador para la existencia de uno o varios procesos físico-químicos (p.e. existencia de diferentes acuíferos, mezcla de diferentes tipos de agua, ambientes hidráulicos aislados, o la dilución por aguas dulces por obras de perforación, reparación, intervención o procesos de infiltración).

La ubicación de las muestras entre agua de formación/ agua marina y agua meteórica indica que se trata de agua mezclada, (agua marina con agua meteórica o agua de formación con agua meteórica).

El uso de tritio resultó en un buen trazador para diagnosticar el impacto de aguas de superficie en las muestras de agua de formación.

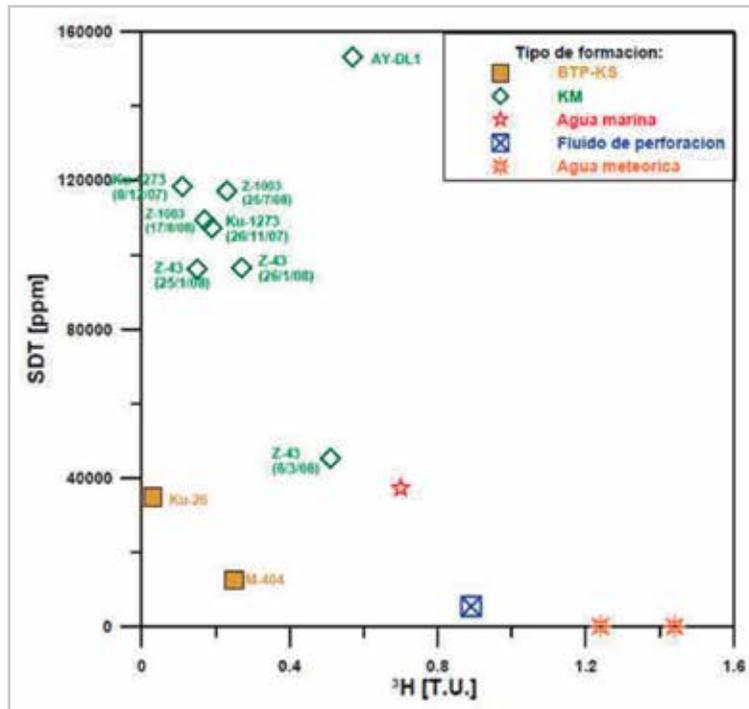


Figura 5. Correlación de  $^3\text{H}$  vs SDT de las aguas producidas en Ku-Maloob-Zaap.

## Resultados

Los estudios temporales de la composición química e isotópica de las aguas de formación de Ku Maloob y Zaap Cretácico comprobaron la existencia de niveles aislados de

estratos hídricos, cuyas diferencias composicionales indican la separación hidráulica entre ellos; por lo cual, se postula una baja velocidad (transmisibilidad) para los procesos migratorios verticales dentro del sistema hídrico natural de los campos, **Figura 6**.

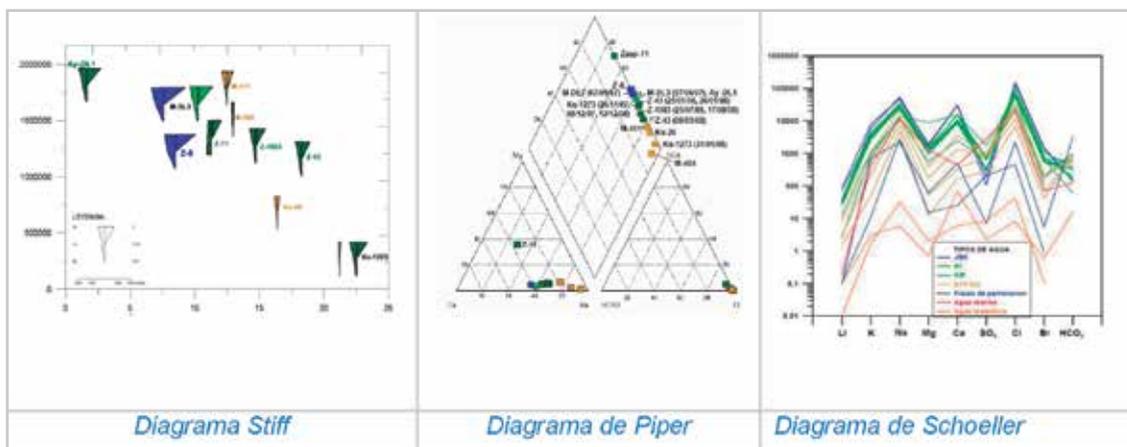


Figura 6. Diagramas de caracterización química del agua en los campos Ku, Maloob y Zaap.

Es importante mencionar que los métodos gráficos sólo permiten visualizar las diferencias en la composición química de las muestras y que el origen y la evolución

de las aguas se determinaron mediante la correlación congénita entre los fluidos analizados a través de los estudios isotópicos, **Figura 7**.

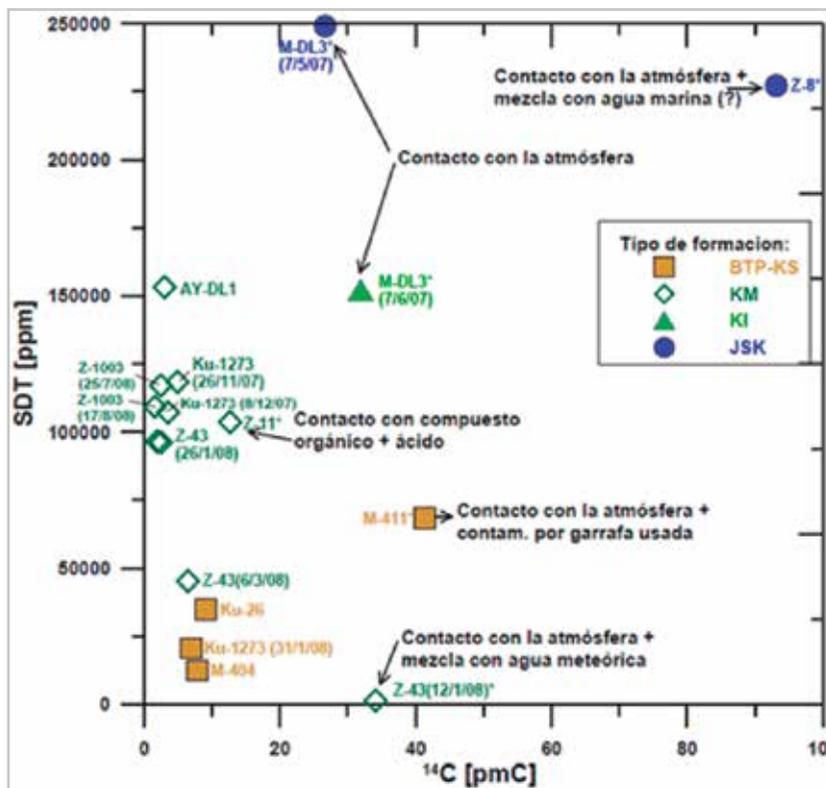


Figura 7. Correlación de <sup>14</sup>C vs SDT de las aguas de Ku Maloob Zaap.

La heterogeneidad en la composición química del agua analizada en distintos pozos, indica la existencia de uno o varios procesos físico-químicos generados por la perforación, reparación, intervención a pozos o procesos de infiltración.

La definición del origen del tipo de aguas estudiadas, las ubica como una mezcla con un mínimo de dos componentes entre agua de formación y agua marina o agua meteórica.

El acercamiento en la composición isotópica <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr de las aguas de formación y de los núcleos del mismo yacimiento es muy homogénea, lo cual indica una interacción intensa de los fluidos con las rocas, acercando la composición isotópica entre ambos medios; sin embargo, las aguas mantienen parte de la composición primaria del fluido en forma estratificada verticalmente, con valores más bajos para las aguas más someras (unidad BTPKS) y con leve aumento con la profundidad, **Figura 8**.

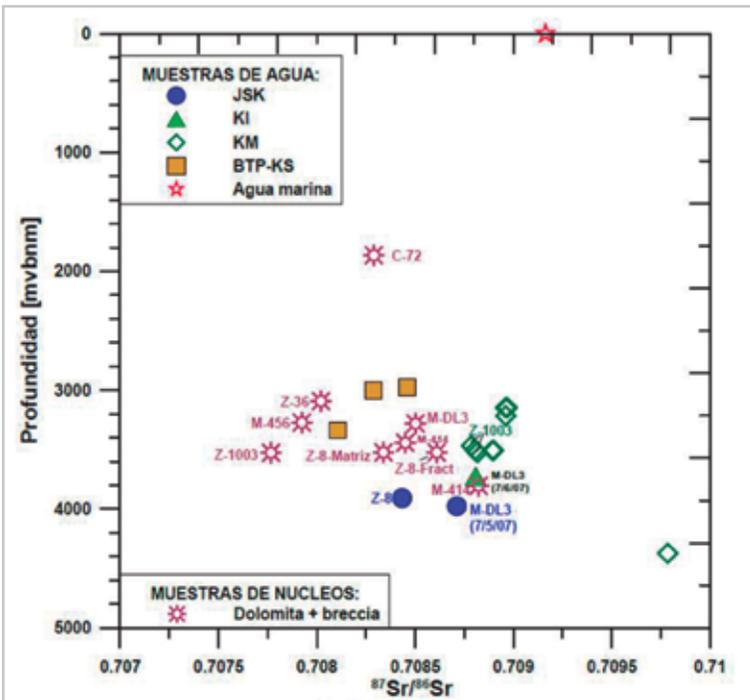


Figura 8. Valores isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$  de las aguas de formación y núcleos del yacimiento.

A partir del aumento en el tiempo de residencia del  $^{14}\text{C}$  con respecto a la profundidad, se estimó la velocidad vertical relativa de las muestras de agua y se observó una tendencia inversa con una disminución de  $^{14}\text{C}$  y un aumento de la

salinidad con la profundidad, lo que indica que las aguas menos salinas se encuentran en las unidades superiores (BTPKS), mientras que la salinidad incrementa hacia las unidades inferiores dentro del Cretácico (KM o KI), Figura 9.

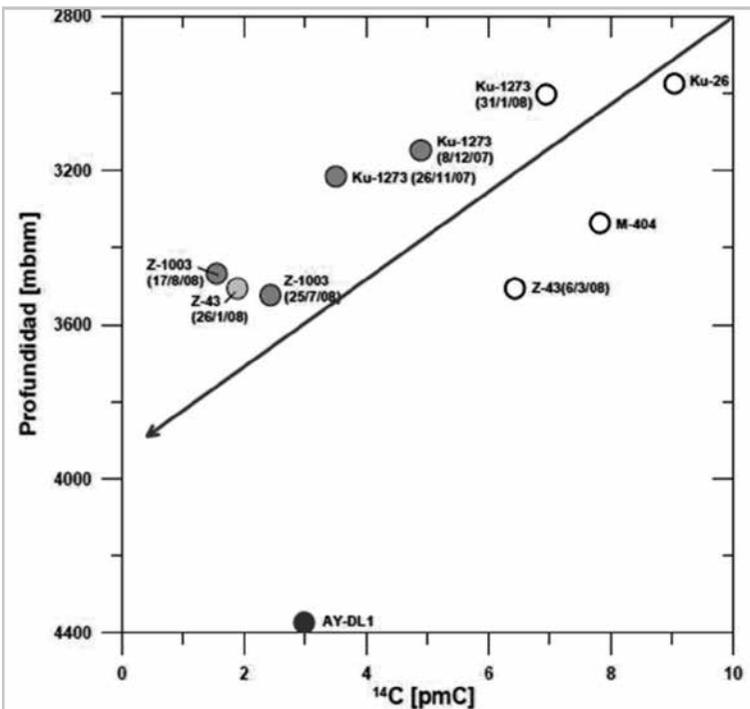


Figura 9. Tendencia vertical de la concentración de  $^{14}\text{C}$  en las muestras de agua.

## Conclusiones

1. Las aguas producidas en los campos KMZ se caracterizan en su mayoría por una composición del tipo Na-Ca-Cl, excepto algunas muestras que son del tipo Na-Cl, y del tipo Ca-Mg-Na-Cl.
2. Los elementos K, Mg, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Sr, Br, entre otros, formen elementos con contribuciones menores.
3. La composición química e isotópica de las aguas de formación es muy heterogénea, reflejada en una variación de la concentración de los sólidos totales disueltos entre 12,500 ppm (Maloob-404) y 249,100 ppm, (Maloob-DL3).
4. Con relación a su contexto litológico, las aguas de formación se agrupan en: aguas de mayor salinidad (> 150,000 ppm) del tipo Na-Ca-Cl en las unidades del JSK y KI. Aguas de salinidad intermedia (95,000 – 150,000 ppm) del tipo Na-Ca-Cl y se encuentran en los estratos del KM. Las aguas de menos salinidad se registraron en intervalos que corresponden a la unidad BTPKS, donde coincidentemente se tiene la zona de pérdida de los fluidos de perforación.
5. Los estudios temporales de la composición química e isotópica de las aguas producidas en KMZ comprobaron la existencia de niveles aislados de estratos hídricos, cuyas diferencias composicionales indican la separación hidráulica entre ellos; por lo cual se postula una baja velocidad (transmisibilidad) para los procesos migratorios verticales dentro del sistema hídrico natural del KMZ.
6. La heterogeneidad en la composición química de las aguas producidas es un indicador para la existencia de procesos físico-químicos (p.e. existencia de diferentes acuíferos, mezcla de diferentes tipos de agua, ambientes hidráulicos aislados, o la dilución por aguas dulces (meteoricas) por obras de perforación, reparación, intervención o procesos de infiltración).
7. En general, el agua de baja salinidad producida por los pozos en los campos Ku, Maloob y Zaap tiene un origen antropogénico y se encuentra en proceso de segregación hacia las zonas acuíferas.

## Siguientes pasos

De acuerdo con los resultados de los análisis isotópicos y de los componentes del agua producida de baja salinidad, se infiere un origen antropogénico, producto de la pérdida de fluidos hacia la formación durante las diferentes intervenciones realizadas a pozos; por lo que se esperaría que tras un periodo completo de limpieza, el agua ajena a la formación tendría que ser desalojada a través de los mismos pozos hasta quedar solamente la producción de los fluidos del yacimiento.

Al tratarse de agua no connata, se toman las previsiones para dirigir los pozos hacia las zonas del yacimiento que favorezcan la segregación de los fluidos que se pierden durante la perforación, terminación o reparación de pozos, a fin de conseguir aceite sin corte agua, en tanto no se tenga disponible la infraestructura superficial necesaria para el manejo y disposición del agua, como es el estado actual de la Región Marina Noreste.

La continuación del presente estudio con un monitoreo y análisis continuo de los mismos intervalos productores y de nuevos intervalos con presencia de agua, puede dar información valiosa sobre los posibles cambios temporales en la migración de los cuerpos hídricos, y su potencial de invasión a los pozos productores en el futuro. La explotación de hidrocarburos en campos maduros puede causar una movilización artificial en el dinamismo hidráulico de los acuíferos con la subsecuente invasión de los pozos.

## Nomenclatura

**Carbono-13 (<sup>13</sup>C):** La infiltración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera al subsuelo, su asimilación por la vegetación y los subsecuentes procesos biogénicos (respiración y biodegradación), así como la mezcla de las aguas subterráneas con carbonatos de calizas, causan heterogeneidad y procesos de fraccionamiento en la relación de los isótopos pesados (<sup>13</sup>C) a los isótopos ligeros (<sup>12</sup>C) del carbono que se puede usar para el diagnóstico del origen de un flujo superficial o subterráneo.

**Carbono-14 (<sup>14</sup>C):** El método de carbono-14 se aplica para el fechamiento de aguas superficiales y subterráneas, principalmente para la determinación del tiempo de residencia (modelo de mezcla) o de la edad total (modelo de flujo pistón) de los fluidos en su ambiente. Por la velocidad de decaimiento del isótopo radioactivo de <sup>14</sup>C, este método se aplica para el fechamiento de aguas con edades máximas de 50,000 años.

**Estroncio-87 ( $^{87}\text{Sr}$ ):** La utilidad de Sr como trazador está relacionada con sus características geoquímicas. Si el Sr está removido del agua como resultado de precipitación de minerales o de intercambio catiónico, la composición isotópica de Sr restante en el agua (medido como  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) se mantiene estable.

**Oxígeno-18 y Deuterio ( $^{18}\text{O}$  y D):** Debido a procesos de fraccionamiento de los isótopos  $^{18}\text{O}$  vs.  $^{16}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  vs.  $^1\text{H}$  por efectos de la temperatura, elevación y evaporación, se encuentran variaciones de su contenido en diversos ambientes hidrológicos, las cuales se asocian con diferentes tipos de agua.

**Tritio ( $^3\text{H}$ ):** Es el isótopo radiactivo de hidrógeno con un tiempo de vida media muy corta (12.32 años) con una proporción de decaimiento de 5.626% por año, por lo cual se utiliza como indicador para la detección de aguas meteóricas muy recientes.

**Yodo-129 ( $^{129}\text{I}$ ):** Tiene un isótopo de tiempo de vida larga,  $^{129}\text{I}$  (tiempo de vida media =  $15.7 \times 10^6$  a), y un isótopo estable,  $^{127}\text{I}$ . Debido a la larga vida media del  $^{129}\text{I}$ , el uso de este isótopo radiactivo es una herramienta importante para el fechamiento de aguas muy antiguas hasta un tiempo de residencia de varios millones de años.

## Referencias bibliográficas

1. Barth, S. 1993. Boron Isotope Variations in Nature: A Synthesis. *Geol. Rundsch.* **82** (4): 640–651.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00191491>.
2. Berner, R.A. y Lasaga, A.C., 1989. Modeling the Geochemical Carbon Cycle. *Scientific American* **260** (3): 74-81.
3. Birkle, P., 2009. Análisis Químico Isotópico de las Aguas de Formación para Definir la Migración de Hidráulica de los Acuíferos y el Grado de Comunicación Entre Bloques de las Estructuras de los Campos de la Región Marina Noreste. PEP-IIE, México.
4. Birkle, P., Angulo, M. y Lima, S. 2006. Hydrochemical-Isotopic Tendencies to Define Hydraulic Mobility of Formation Water at the Samaria-Sitio-Grande Oil Field, Mexico. *J. Hydrol.* **317** (3-4): 202-220.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.018>.
5. Bottomley, D.J., Gregoire, D.C. y Raven, K.G., 1994. Saline Groundwaters and Brines in the Canadian Shield: Geochemical and Isotopic Evidence for a Residual Evaporite Brine Component. *Geochim. Cosmochim. Acta* **58** (5): 1483-1498.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90551-7](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(94)90551-7).
6. Bredehoeft, J.D., Blyth, C.R., White, W.A., et al. 1963. Possible Mechanism for Concentration of Brines in Subsurface Formations. *AAPG Bulletin* **47** (2): 257–269.
7. Brumsack, H.J. y Zuleger, E. 1992. Boron and Boron Isotopes in Pore Waters from ODP Leg 127, Sea of Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.* **113** (3): 427-433.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(92\)90143-J](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(92)90143-J).
8. Bullen, T.D., Krabbenhoft, D.P. y Kendall, C. 1996. Kinetic and Mineralogic Controls on the Evolution of Groundwater Chemistry and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in a Sandy Silicate Aquifer, Northern Wisconsin, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta* **60** (10): 1807-1821.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00052-X](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(96)00052-X).

## Semblanza de los autores

### **M. en I. María de Jesús Correa López**

Ingeniera Petrolera con estudios de Maestría en Ingeniería Petrolera y Gas Natural, con más de 15 de años de experiencia en la industria petrolera, principalmente en las diferentes disciplinas para la caracterización de yacimientos.

Inició su carrera profesional en el Activo Ku Maloob Zaap de la Región Marina Noreste de Pemex Exploración y Producción, donde ha desarrollado actividades como la interpretación sísmico estructural en los campos Ku, Maloob y Zaap, construcción de modelos de velocidades para conversión de tiempo a profundidad, evaluación petrofísica, estimación de volúmenes originales de hidrocarburos para la documentación y justificación de reservas, propuestas de ubicación de pozos para el desarrollo de campos y modelado de caracterización estática de yacimientos y participación del Grupo VCDe de pozos del Activo de Producción Ku Maloob Zaap.

Actualmente se desempeña como Superintendente del Grupo de Caracterización de Yacimientos, adscrita a la Coordinación del Grupo Multidisciplinario de Especialistas Técnicos de Diseño de Proyectos en el Activo de Producción Ku Maloob Zaap, Pemex Exploración y Producción.

Pertenece al Colegio de Ingenieros Petroleros de México, y a la Society of Petroleum Engineers.

### **M. en I. Antonio Rojas Figueroa**

Ingeniero Petrolero egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En 1990 ingresó a Petróleos Mexicanos como ingeniero en entrenamiento, estuvo adscrito al Departamento de ingeniería de yacimientos de la Superintendencia de producción en la Región Marina, participó como responsable por Pemex del estudio integral del Campo Nohoch.

Actualmente se desempeña como Coordinador del Grupo de especialistas técnicos en diseño de proyectos, en el Activo de Producción Ku-Maloob-Zaap

Ha publicado artículos sobre transporte de hidrocarburos en régimen transitorio, bombeo electrocentrífugo, optimización de bombeo neumático, terminaciones inteligentes y administración integrada de yacimientos.

Es miembro del Colegio de Ingenieros Petroleros de México y de la SPE.